

Alma Mater Studiorum Università di Bologna

Facoltà Di Agraria

Dipartimento Di Economia e Ingegneria Agrarie

**DOTTORATO DI RICERCA
INGEGNERIA AGRARIA**

Ciclo XXII

Settore scientifico disciplinare di afferenza:
Meccanica agraria AGR/09

TITOLO TESI

Progettazione, realizzazione e prime verifiche di campo
di un sistema di monitoraggio della carpocapsa
(*Cydia pomonella* L.).

Presentata da:

Marco Studhalter

Coordinatore Dottorato

Chiar.mo Prof. A. Guarnieri

Relatore

Dott.ssa V. Rondelli

Esame finale anno 2010

INDICE

1.	INTRODUZIONE.....	3
1.1.	Cydia pomonella	6
1.1.1.	Descrizione insetto	6
1.1.2.	Distribuzione	8
1.1.3.	Piante ospiti.....	9
1.1.4.	Notizie su biologia ed etologia.....	10
1.1.5.	Danni.....	14
1.2.	Il monitoraggio.....	16
1.2.1.	I modelli previsionali di sviluppo.....	17
1.2.2.	Le strategie di difesa	19
1.2.3.	I feromoni.....	21
1.2.4.	Le trappole	22
1.2.5.	Evoluzione delle trappole.....	26
2.	MATERIALI E METODI.....	29
2.1.	La trappola	30
2.2.	Il sistema di acquisizione e trasmissione dei dati.....	31
2.2.1.	Il primo prototipo del sistema di monitoraggio.....	33
2.2.1.1.	La componentistica del sistema.....	33
2.2.1.2.	Dimensionamento dell'impianto d'alimentazione	38
2.2.1.3.	Costi del sistema	40
2.2.1.4.	Sperimentazione in campo	41
2.2.2.	Il secondo prototipo del sistema di monitoraggio	43
2.2.2.1.	Dimensionamento dell'impianto di alimentazione.....	49
2.2.2.2.	Costi del sistema	52
2.2.2.3.	Sperimentazione in campo nel 2008	53
2.2.2.4.	Sperimentazione in campo nel 2009	55
3.	RISULTATI DELLA SPERIMENTAZIONE	59
3.1.	Il primo prototipo del sistema di monitoraggio.....	59
3.1.1.	Dati catture.....	59
3.1.2.	Immagini degli insetti catturati dal sistema di monitoraggio	63

INDICE

3.1.3.	Comportamento in campo del sistema.	66
3.2.	Il secondo prototipo del sistema di monitoraggio	67
3.2.1.	Sperimentazione in campo 2008	67
3.2.1.1.	Dati catture	67
3.2.1.2.	Immagini degli insetti catturati dal sistema di monitoraggio	71
3.2.1.3.	Comportamento in campo del sistema	73
3.2.2.	Sperimentazione in campo 2009	73
3.2.2.1.	Dati Catture	73
3.2.2.2.	Immagini della carpocapsa catturata dal sistema di monitoraggio.....	78
3.2.2.3.	Comportamento in campo del sistema	79
3.2.2.3.1.	<i>Alcuni problemi di funzionamento riscontrati in campo nel 2009</i>	<i>80</i>
3.2.2.3.1.1.	<i>Imbrattamento della zona di visione</i>	<i>80</i>
3.2.2.3.1.2.	<i>Mancata visione di una cattura di Cydia pomonella</i>	<i>82</i>
3.2.2.4.	Trasmissione dati tramite rete cellulare.....	83
4.	DISCUSSIONE DEI RISULTATI.....	85
4.1.	Il primo prototipo del sistema di monitoraggio.....	85
4.1.1.	Risultati delle catture.....	85
4.1.2.	Qualità delle immagini	86
4.2.	Il secondo prototipo del sistema di monitoraggio	87
4.2.1.	Risultati delle catture.....	87
4.2.2.	Comportamento in campo	88
5.	CONCLUSIONI.....	93
	BIBLIOGRAFIA.....	97
	RINGRAZIAMENTI.....	101

1. INTRODUZIONE

La carpocapsa, *Cydia pomonella* (L.), a livello planetario, è uno dei lepidotteri più temuti e dannosi in frutticoltura per l'entità dell'infestazione che è in grado di originare e per la notevole polifagia e, di conseguenza, è da sempre avversata con ogni mezzo disponibile. In mancanza di adeguate misure di difesa fitosanitaria il danno ai frutti, causato dalle larve carpofaghe, può essere così ingente da interessare la totalità della produzione. Per la difesa dall'ottocento e fino agli anni cinquanta erano comunemente utilizzati gli arseniati di piombo, poi progressivamente sostituiti da svariati principi attivi di sintesi, appartenenti alle famiglie dei cloroderivati, forforanici e carbammati. Gli insetticidi erano impiegati in modo preventivo e reiterato nel corso della stagione e a turno fisso (lotta "a calendario") e i momenti degli interventi erano basati unicamente sulle fasi fenologiche delle piante da proteggere.

Negli ultimi decenni la forte pressione di selezione su carpocapsa dovuta all'intenso utilizzo dei fitofarmaci per la difesa sta portando ad una sua sempre maggiore resistenza nei confronti dei principali prodotti chimici impiegati.

I primi casi di resistenza vennero segnalati in popolazioni californiane negli anni ottanta (Riedl H., 1985) e riguardavano l'Azinphos methyl, un fosforanico largamente utilizzato nella lotta all'insetto. Attualmente Negli anni si sta assistendo ad una acutizzazione del problema e quasi tutti i prodotti largamente usati presentano sintomi di resistenza da parte della carpocapsa (Welter S., 1992) (Varela L. G., 1993) (Ioriatti C., 2003a). Questo fenomeno, unito alla necessità di una maggiore salvaguardia dell'ambiente e della salute dell'uomo, ha portato all'affermazione della lotta guidata e della lotta integrata. Nell'ambito di queste strategie gli insetticidi chimici di sintesi (fosforanici, carbammati e, successivamente, i così detti "regolatori di crescita") vengono utilizzati, sulla base delle indicazioni del monitoraggio, nel momento opportuno e solamente al superamento di soglie di rischio. Inoltre gli

insetticidi vengono integrati e, qualora possibile, sostituiti con i vari sistemi di lotta alternativi, come mezzi agronomici, fisici, biotecnici e microbiologici.

Questi metodi di lotta prevedono l'utilizzazione delle trappole a feromoni per il monitoraggio dell'insetto. Il principio di funzionamento si basa sull'emissione del feromone sessuale, una sostanza rilasciata in natura dalle femmine per attrarre il maschio della medesima specie, attraverso una trappola che provvede alla cattura dei maschi adulti e consente di stimare oltre alla dimensione della popolazione anche l'andamento temporale degli sfarfallamenti per determinare con esattezza il momento più opportuno per l'intervento di lotta. Tale sistema di monitoraggio consente di eseguire i trattamenti in modo più preciso, coordinando gli interventi con il ciclo del lepidottero e stimando la dimensione della successiva generazione larvale (Birch M.C., 1984). La scoperta del Codlemone (Roelofs W. L., 1971) componente principale del feromone naturale emesso dalla carpocapsa, ha reso le trappole sessuali un sistema di campionamento indispensabile in tutte le nazioni del mondo nelle quali si segnala la presenza di questo pericoloso fitofago.

In Emilia Romagna le aziende agricole che applicano la lotta guidata e integrata prevedono l'esecuzione dei trattamenti alla carpocapsa al superamento di due adulti catturati per trappola in una settimana (Disciplinare di produzione dell'Emilia Romagna, 2007). Il disciplinare di produzione richiede l'utilizzazione di almeno due trappole per azienda, che di norma, vengono controllate una o due volte alla settimana dall'agricoltore per accertare la cattura e fissare la data del trattamento. Ovviamente la tempestività nel rilevare la cattura influenza sensibilmente l'efficacia del trattamento. Il controllo periodico delle trappole per il monitoraggio degli insetti richiede tempo e una tempistica precisa per evitare che il conteggio delle catture venga fatto giorni dopo l'effettiva cattura.

Il principale obiettivo del presente lavoro è stato la progettazione integrata e la costruzione di una trappola a feromoni in grado di consentire un automatico monitoraggio della cattura di maschi adulti di carpocapsa e di inviare in tempo reale l'informazione ad un centro aziendale ovvero ad un centro di raccolta e analisi dei dati. Il prototipo costruito partendo da una trappola di tipo commerciale, già valutata sperimentalmente in termini di efficacia di cattura di maschi di *Cydia pomonella* (Accinelli G., 1998) è stato realizzato allo scopo di razionalizzazione la gestione dei trattamenti, di migliorare la protezione delle colture e di ridurre i costi della difesa.

L'obiettivo ultimo della trappola "automatica" può poi essere indirizzata anche a fornire uno strumento di supporto alla definizione dei modelli previsionali di sviluppo del fitofago. Tali modelli richiedono, accanto ad una estrema semplificazione delle assunzioni di base, la precisa e puntuale definizione di tali variabili. In tal senso il monitoraggio automatico e continuo delle catture reso possibile dal prototipo allo studio, consentirà di registrare in modo puntuale le catture al variare delle condizioni ambientali.

1.1. *Cydia pomonella*

1.1.1. Descrizione insetto

Gli adulti di *C. pomonella* presentano ali mesotoraciche di colore grigio cenere attraversate da striature trasversali ondulate di colorazione variabile tra il marrone e il nero, e presentanti, nell'estremità distale, una macchia ocellare bruna con riflessi marginali ramati e delimitata all'interno da una banda nera ricurva più o meno visibile. Le ali metatoraciche sono di colore bruno rossastro con riflessi dorato-ramati, più scure ai margini. Nel complesso l'apertura alare varia da 15 a 22 mm (Tremblay, 1993). (Figura 1)

La livrea delle ali mesotoraciche, sia come tonalità delle bande trasversali che come colorazione di fondo, presenta notevole variabilità. All'interno delle popolazioni di *C. pomonella* seppur con una bassa frequenza vi è la presenza di due forme, che posso presentarsi insieme alla forma normale: la forma *blonde* Sdraiati & Cravedi con striature di colore grigio-giallastro e la forma *putaminana* Staudinger, di colore marrone molto più chiaro, con striature trasversali e macchia praticamente assenti (Tremblay, 1993).

E' presente un leggero dimorfismo sessuale: il maschio, più piccolo della femmina, presenta una macchia subrettangolare longitudinale nera nella metà prossimale della faccia inferiore dell'ala anteriore (Tremblay, 1993).

L'uovo ha una forma lenticolare e misura mediamente tra 0,95 e 1,25 mm. Appena deposto è di colore bianco opalescente, ma sviluppandosi il colore vira verso il giallo-arancio, aumenta la trasparenza e, dopo 2-4 giorni di incubazione, si ha la comparsa di un anello incompleto di colore rosso (stadio *anello rosso* o *red ring*). Continuando lo sviluppo l'embrione diventa più evidente e si intravede, in prossimità della chiusura, il punto nero dovuto alla capsula cefalica (stadio *testa nera* o *black head*).

La larva per passare allo stadio adulto attraversa cinque stadi. La larva neonata misura circa 1,5 mm ed è bianca con capo nero, col progredire dello sviluppo la colorazione si in scurisce diventando giallo crema molto chiaro, al quarto

stadio la larva inizia ad assumere un tenue colore roseo. La larva matura ha una forma cilindrica, misura 1,5 – 2 cm di lunghezza ed è solitamente di colore rosa più intenso, variabile in funzione dell'ospite in cui è sviluppata (Figura 2).

Le larve in diapausa sono di colore bianco-gialliccio opaco uniforme.

La crisalide, lunga circa 1 cm, è di colore variabile da giallo brunastro a bruno scuro.



Figura 1 Adulto di *Cydia pomonella*



Figura 2 Larva di *Cydia pomonella*

1.1.2. Distribuzione

Sebbene l'aerale d'origine di *C. pomonella* fosse lo stesso del melo selvatico (*Malus silvestris* Miller) (Grandi, 1951) è attualmente cosmopolita grazie all'azione antropica involontaria che ne ha permesso la diffusione.

Risulta presente in tutti i paesi europei (tranne l'Islanda), nella porzione centro-occidentale del continente asiatico (Turkmenistan, Uzbekistan, Tadjikistan, Kirghizistan, Azerbaijan, Afganistan, Pakistan, India, Iran, Iraq, Israele, Giordania, Libano, Siria, Turchia, Cina occidentale e Russia, compresa la Siberia centrale), in Africa (Algeria, Egitto, Marocco, Tunisia, sud Africa e Zimbabwe), in Nord America (Canada, USA e Messico), in Sud America (Argentina, Brasile, Cile, Colombia, Perù, Uruguay), Australia e Nuova Zelanda.

Il limite termico minimo è dato dalla necessità di raggiungere almeno 600 gradi-giorno nel periodo vegetativo della pianta ospite, mentre le basse

temperature invernali non rappresentano un limite per la resistenza al freddo delle larve in diapausa. Al contrario la specie non riesce ad adattarsi nelle aree dove la temperatura dei mesi più freddi (gennaio per la zona boreale e luglio per quella australe) non scende sotto i $+10^{\circ}\text{C}$ per un certo numero di giorni (Tremblay, 1993). (Figura 3)

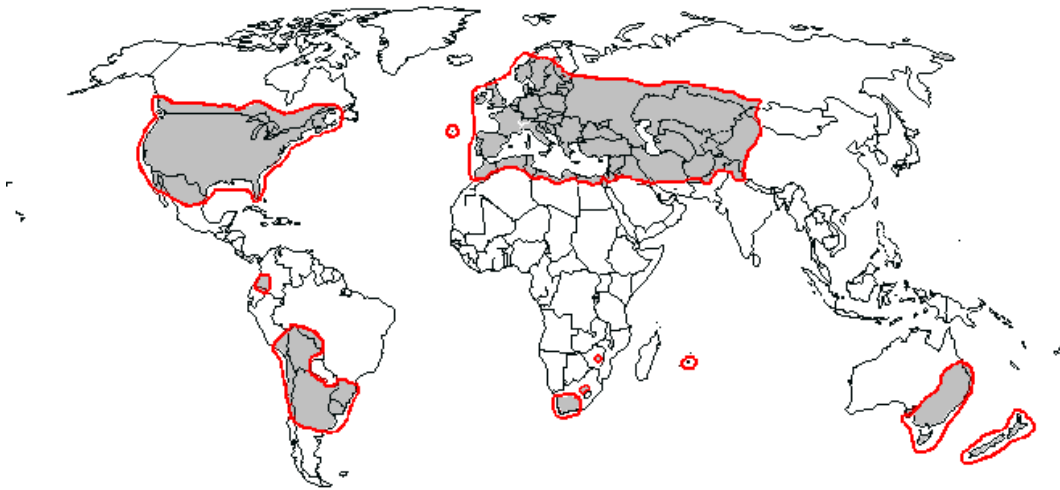


Figura 3 Distribuzione geografica di *Cydia pomonella*

1.1.3. Piante ospiti

La specie è oligofaga e carposfaga. Le larve attaccano principalmente le pomacee, soprattutto melo e pero (*Pyrus communis* L.), con deviazione alimentare preferenziale per il noce (*Juglans regia* L.). Secondariamente infestano i frutti di cotogno (*Cydonia oblonga* (Miller)), nashi (*Pyrus pyrifolia* Burm.), nespolo (*Mespilus germanica* L.), sorbo (*Sorbus domestica* L.), albicocco (*Prunus armeniaca* L.), susino (*Prunus domestica* L.), pesco (*Prunus persica* (L.)), kaki (*Diospyros kaki* L.) e, meno comunemente, di mandorlo (*Prunus dulcis* (Miller)), melone (*Cucumis melo* L.), nespolo del Giappone (*Eriobotrya japonica* Lindl.), melograno (*Punica granatum* L.), biancospino (*Crataegus monogyna* Jacq.), rosa (*Rosa* spp.), ciliegio (*Prunus avium* (L.)), arancio (*Citrus sinensis* (L.)) e castagno (*Castanea sativa* Miller) (Grandi, 1951) (Tremblay, 1993) (Pollini, 2002).

Gli adulti invece sono glicifagi.

1.1.4. Notizie su biologia ed etologia

C. pomonella si caratterizza per essere una specie mono o polivoltina, con un numero di generazioni annuali variabile in funzione dell'area geografica: 1 sola generazione larvale è riportata per le zone più settentrionali dell'areale di distribuzione, 2 per quelle continentali e 3-4 per quelle meridionali. Per l'Italia si segnalano 2 generazioni nelle regioni settentrionali e 3 per quelle centromeridionali. In Emilia Romagna la specie svolge 3 generazioni annuali (Briolini G., 1971).

Lo svernamento è sostenuto costantemente dalla larva matura (V età) in diapausa e racchiusa entro ad un bozzolo sericeo. Di solito i siti di svernamento sono rappresentati, se il tronco della pianta ospite è rugoso, dagli anfratti della corteccia, o nel caso di ospiti a corteggia liscia, del terreno.

La diapausa è un episodio fondamentale nel ciclo biologico di *C. pomonella* in quanto, se da un lato limita il numero di generazioni, dall'altro garantisce la sopravvivenza della specie per il periodo invernale anche in zone con clima molto rigido.

In Emilia Romagna oltre alle larve di terza generazione, circa il 50% delle larve di seconda generazione entra in diapausa (Briolini G., 1971). In Veneto, Trentino e Alto Adige, dove il carpofoago compie solo 2 generazioni, normalmente il 50% di larve della prima generazione si approssima alla diapausa.

L'interruzione della diapausa, con la formazione delle crisalidi, in Italia, avviene tra la metà di marzo e la fine di maggio (Boselli, Melandri, Pasqualini, Pradolesi, & Zelger, 2005).

In Emilia Romagna i primi sfarfallamenti avvengono in tempi diversi a seconda delle zone, ma grosso modo verso la metà di aprile (Briolini G., 1971). Gli adulti di prima generazione (secondo volo) iniziano a sfarfallare

dopo la metà di giugno, con il picco posizionato attorno a metà luglio, mentre quelli di seconda generazione (terzo volo) nella prima decade di agosto, con picco verso la metà di agosto e proseguono solitamente fino a metà settembre (raramente fino a fine settembre).

I maschi normalmente sfarfallano 2-3 giorni prima delle femmine. Negli ultimi anni, tuttavia, si è registrato un progressivo anticipo degli sfarfallamenti di circa una quindicina di giorni dal 1993 al 2000 (Pasqualini, Vergnani, Ardizzoni, Civolani, & Ferioli, 2001). La longevità degli adulti varia principalmente in funzione della temperatura (diminuisce all'aumentare della temperatura), della disponibilità e della fonte alimentare. Le femmine, più longeve rispetto ai maschi, possono vivere da una settimana a più di un mese.

Gli adulti compiono piccoli spostamenti all'interno del frutteto: i maschi non vanno solitamente oltre i 100 - 200 m, mentre le femmine notoriamente compiono spostamenti molto più brevi.

Le femmine, per richiamare i maschi, emettono un feromone sessuale specifico costituito da una miscela di sostanze volatili (per questo argomento si rimanda al paragrafo 1.2.3).

Gli adulti presentano un ritmo circadiano simile a quello di altri Tortricidi. Gli accoppiamenti avvengono normalmente al crepuscolo (in Emilia Romagna, con temperature maggiori di 15,6°C) e durano alcune ore. Una femmina può accoppiarsi una o più volte e la fecondità per esemplare è mediamente di 60-80 uova e può dipendere sia dal peso dell'insetto che dall'intensità luminosa.

La maggior parte delle uova è deposta nelle prime 2 settimane di vita delle femmine e il loro numero diminuisce in funzione del momento in cui sono avvenuti gli accoppiamenti: più viene ritardato il primo accoppiamento, minore sarà il numero di uova deposte.

In Emilia Romagna il periodo di ovideposizione della generazione svernante prosegue da inizio maggio a metà di giugno (Boselli, Melandri, Pasqualini, Pradolesi, & Zelger, 2005) mentre nelle regioni meridionali può continuare fino a fine giugno (Lucchese, 1938).

La deposizione delle uova avviene nelle serate calde, in assenza di vento, con temperature superiori a 15-16°C (optimum attorno a 25°C) e si protrae per 2-3 ore dopo il tramonto. Le uova vengono normalmente deposte isolate o, raramente, in piccoli gruppi di 2-3 elementi, su superfici vegetali lisce.

Osservazioni pluriennali condotte, in Emilia Romagna, in un pereto abbandonato non soggetto ad interventi insetticidi (Tiso, Boselli, Butturini, & Bellettini, 2001) (Boselli, Butturini, & Tiso, 2003) evidenziano una diversa localizzazione delle uova di *C. pomonella* tra la prima e la seconda-terza generazione: le femmine di prima comparsa rilasciano le uova principalmente (oltre l'85%) sul ramo fruttifero (su pagina superiore e pagina inferiore delle foglie delle rosette e sulla borsa fruttifera) e in misura minoritaria sui frutticini, mentre nelle altre due generazioni, le uova vengono deposte in numero pressoché equivalente sui frutti e sulla vegetazione. Analoghi risultati erano emersi nelle ricerche condotte da (Golfari, 1939), su melo, nel medesimo areale.

Tale fenomeno trova spiegazione nel fatto che, col progredire dello sviluppo vegetativo, l'aumento delle dimensioni dei frutti accresce la probabilità che le uova vengano deposte su questi e, parallelamente, il richiamo che i frutti esercitano diventa maggiore per via dell'incremento di sostanze attrattive emesse. Infatti, contrariamente a quanto riportato da (Golfari, 1939), pare che l'ovideposizione non sia casuale, ma avvenga sempre in prossimità dei frutti (Boselli, Melandri, Pasqualini, Pradolesi, & Zelger, 2005).

Lo sviluppo embrionale si compie al superamento della soglia di 90 gradi giorno che, grosso modo, corrisponde a 6 giorni con temperature medie di 25°C e 9 giorni con 20°C. Il limite termico inferiore di sviluppo è 10°C, quello superiore di 35°C, mentre le temperature ottimali sono comprese tra 25 e 30°C.

Le uova schiudono, solitamente, nelle prime ore calde della mattina. Le larve sgusciano in tempi rapidi attraverso un'apertura laterale del corion da loro stesse prodotta con le mandibole.

Le larve neonate di prima generazione, hanno attitudine al vagabondaggio, che può protrarsi anche 1-2 giorni e gli consente una dispersione anche di qualche metro sulla vegetazione. A direzionarne il movimento è l'ubicazione di frutti che, indiscutibilmente, esercitano attrazione.

Nelle successive generazioni o con l'aumentare delle temperature, a causa del rischio di disidratazione, il vagabondaggio non avviene e la larva penetra nel frutto in tempi rapidi (da qualche minuto a poche ore) a breve distanza dal punto di ovideposizione.

La perforazione del frutto può avvenire in qualsiasi zona ma, con maggior frequenza, nelle parti nascoste come la cavità calicina (soprattutto sulle pere), quella peduncolare o nei punti in cui il frutto è a contatto con un altro frutto o con organi vegetali (foglie e rami). Nelle fasi iniziali dell'escavazione, la larvetta distacca porzioni di tessuto che non vengono ingerite ma spremute con le mandibole e rigettate (erosione "di assaggio"). Secondariamente inizia la penetrazione nel tessuto, dapprima con un breve percorso sottoepidermico di forma a spirale e, dopo aver compiuto la prima muta, approfondendosi nella polpa scavando una galleria più o meno sinuosa verso l'ovario, (Golfari, 1939).

In un frutto, solitamente, sviluppa una sola larva, anche in condizioni di elevate popolazioni, in quanto il carpofago è dotato di costumi cannibali.

Il cambiamento di ospite vegetale comporta piccole modificazioni nella biologia dell'insetto. Su noce, le uova vengono deposte prevalentemente sul frutto; le larve si nutrono inizialmente sull'esocarpo (quando è ancora tenero) e successivamente penetrano nei gherigli attraverso le sutura delle due valve del guscio, soprattutto nella zona di inserzione del peduncolo.

Nelle drupacee (pesco, susino e albicocco), ospiti occasionali di carpocapsa, le larve tendono ad approfondirsi nel frutto scavando gallerie per andare ad insediarsi nella zona tra la polpa e il nocciolo (Lucchese, 1938).

STADIO	GEN/FEB	MAR	APR	MAG	GIG	LUG	AGO	SETT	OTT/NOV
UOVO									
LARVA									
CRISALIDE									
ADULTO									

Figura 4 Ciclo biologico di *C. pomonella* indicativo per l'Emilia Romagna

1.1.5. Danni

La carpocapsa è in grado di attaccare i frutti delle pomacee dalle fasi iniziali del loro sviluppo (stadio *frutto noce*) alla maturazione. I frutti infestati (detti “bacati”) finiscono per cadere, scartati dalla pianta o alterati da marcescenze conseguenti all’insediamento di patogeni.

Gli attacchi tardivi, che possono non essere notati in fase di raccolta, comportano difficoltà di gestione della produzione nella fase di conservazione in quanto il frutto bacato marcisce alterando anche quelli vicini. Analoga sorte accade ai frutti sulla cui superficie, alla raccolta, sono presenti uova vitali che schiudono durante lo stoccaggio in magazzino.

Il così detto “bacato secco”, ossia la presenza di erosioni superficiali cicatrizzate formatesi a seguito di attacchi bloccati nelle fasi iniziali per la morte naturale della larveta o per l’azione di insetticidi (sia fosfororganici appositamente impiegati per bloccare l’attività larvale, che preparati microbiologici a base del virus della granulosa che hanno azione leggermente ritardata), pur non comportando un rischio per la conservazione rappresenta un danno estetico e, di riflesso, economico per la produzione.

Nei frutteti specializzati di pomacee le perdite dovute all’azione del carpofago possono essere ingenti, fino ad interessare la totalità della produzione.

Nelle noci, così come negli altri ospiti più o meno occasionali, la tipologia e l’entità dei danni sono analoghi.



Figura 5 Frutto di pero “bacato” da Carpocapsa



Figura 6 Larva di *Carpocapsa* in frutto di noce

1.2. Il monitoraggio

La carpocapsa è l'insetto chiave delle pomacee, ossia il fitofago contro cui è incentrata la difesa. La specie, da sempre temuta, nel recente passato è fonte di rinnovata attenzione per via di un sensibile inasprimento degli attacchi verificatosi negli ultimi anni (Mattedi, Forno, Lucin, Pellegrini, Piva, & Varner, 2005) (Pasqualini & Boselli, 2005). Tra le possibili cause, per altro di difficile individuazione, le mutate condizioni climatiche che hanno caratterizzato le ultime annate (con particolare riferimento al susseguirsi di inverni miti e primavere in genere poco piovose) e la sospensione, o una forte dilatazione, dei tempi di intervento nella difesa conseguente alle grandinate diffuse nei mesi estivi, potrebbero avere giocato un ruolo importante come innesco del fenomeno (Galassi & Pasqualini, 2000) (Boselli, Butturini, & Tiso, 2003): è noto infatti che, in ecosistemi altamente semplificati e, di

conseguenza instabili, come i frutteti specializzati, una diminuzione della mortalità larvale ed un aumento, anche minimo, della fertilità e della fecondità degli adulti, possono comportare un incremento consistente delle popolazioni del fitofago. In condizioni di elevata pressione poi, qualsiasi provvedimento di difesa ha una efficacia parziale ed eventuali errori nel posizionamento degli interventi hanno effetti amplificati. Infine, come possibili ipotesi, vengono considerate la diminuzione di efficacia o la possibile insorgenza di fenomeni di resistenza agli insetticidi in commercio.

Nell'ambito delle strategie di difesa, l'attenta valutazione del momento ottimale di posizionamento dei trattamenti insetticidi in ragione dello stadio di sviluppo del carpofago e la diffusione di sistemi biotecnici sono, al momento, gli aspetti cardinali per fronteggiare il fenomeno.

1.2.1. I modelli previsionali di sviluppo

Lo sviluppo degli insetti è un processo complesso risultante dall'interazione di fattori interni (variabilità genetica) ed esterni, quali l'alimentazione, l'umidità, la radiazione luminosa e la temperatura.

Per cercare di prevedere l'andamento dell'infestazione e di conseguenza pianificare per tempo un piano di azione di difesa, sono stati sviluppati dei modelli di simulazione denominati: "modelli previsionali".

Affinché un modello di simulazione possa trovare impiego pratico, pur mantenendo un elevato livello di affidabilità, è necessario operare semplificazioni nelle assunzioni di base considerando, come variabili, i soli fattori di maggiore influenza.

I modelli più utilizzati nella difesa fitosanitaria dai fitofagi sono quelli di tipo "fenologico" che simulano i tempi di raggiungimento di una certa fase dello sviluppo sulla base della temperatura, ritenuta, in assenza di fattori naturali e artificiali di contenimento, l'elemento di crescita predominante di una specie peciloterme. I modelli di tipo "demografico", in grado di fornire una stima

quantitativa delle popolazioni del fitofago, invece, seppur ritenuti strumenti dall'elevato valore scientifico, per la complessità e la difficile gestione sono inadatti alla pratica agricola (Butturini & Tiso, 2002).

In Emilia Romagna, presso il Servizio Fitosanitario regionale, è attivo un sistema di previsione e avvertimento delle principali avversità delle colture che, sulla base di dati meteorologici, biologici e fenologici e con l'ausilio di modelli previsionali fornisce indicazioni nella gestione della difesa delle colture agrarie (Bugiani, Tiso, Butturini, Govoni, & Ponti, 1996).

In particolare, è stato messo a punto un modello di sviluppo a ritardo variabile (MRV) in grado di simulare la risposta di una popolazione di insetti descrivendo il passaggio degli individui attraverso le proprie fenofasi (uovo, larva, pupa e adulto) unicamente sulla base delle temperature rilevate in campo. Tale modello è in grado di descrivere, per una popolazione, la distribuzione in classi di età e la variabilità genetica, indicando il verificarsi di un dato evento fenologico e la sua intera distribuzione nel tempo. Il modello è adattabile a diversi fitofagi (soprattutto lepidotteri), previo inserimento dei parametri biologici specifici rilevati in condizioni controllate.

Per *C. pomonella*, il MRV (MRV-carpocapsa) è stato costruito sulla base della risposta alla temperatura dei diversi stadi di sviluppo del fitofago ottenuta da (Butturini, Tiso, & De Berardinis, 1992) attraverso allevamenti condotti a diverse temperature costanti e in condizioni il più possibile prossime a quelle naturali. I tassi di sviluppo sono stati interpolati attraverso un modello non lineare (curva di Logan) in grado di considerare il fatto che, in prossimità del limite superiore e inferiore, la risposta di crescita non è linearmente proporzionale alla temperatura, mentre il tasso di invecchiamento delle femmine adulte corrisponde con una retta.

Il modello utilizza la temperatura media, oraria o bioraria, come unico fattore in ingresso e produce, come dati in uscita, la percentuale di ovideposizione, lo sgusciamiento delle larve, l'incrisalimento e lo sfarfallamento delle prime due generazioni del fitofago (Tiso, Boselli, Butturini, & Bellettini, 2001).

La capacità previsionale del modello è stata successivamente verificata (validazione) attraverso il confronto dei risultati della simulazione matematica con i dati rilevati in campo (primo e secondo volo degli adulti, ovideposizione e nascita delle larve di prima generazione) attraverso indagini pluriennali avviate a partire dal 1992 (Tiso & Butturini, 1999).

1.2.2. Le strategie di difesa

Contro il carpofago è possibile adottare diverse strategie di difesa in ragione dell'area geografica di riferimento (a cui corrisponde un diverso comportamento biologico della specie), del decorso climatico stagionale e, a livello aziendale, di problematiche specifiche riscontrate negli anni passati. Nel corso dell'annata, la difesa può poi subire modifiche sulla base dei risultati conseguiti al termine della prima generazione.

Negli ultimi anni due metodologie di lotta, il metodo della “confusione sessuale” e della “distrazione”, si stanno integrando alla normali metodologie di lotta nelle in molte aree in cui la lotta classica non può esser applicata per i principi di lotta biologica o per la comparsa dei fenomeni di resistenza ai principi attivi da parte di *Cydia pomonella*.

La metodologia della “confusione sessuale” (mating disruption) si ottiene applicando, nella parte alta delle piante, degli erogatori (in numero variabile da 200 a 1000 ad ettaro a seconda del modello) che rilasciano una grande quantità di feromone (100-150 g per ettaro) in modo da creare una sorta di nube” uniforme che permea tutto il frutteto. In queste condizioni si verifica l'affaticamento sensoriale e/o il mascheramento dei richiami naturali delle femmine.

Il metodo della “distrazione” (Maini & Accinelli, 2000) o del “disorientamento” (Molinari, Cravedi, Rama, Reggiori, Dal Pane, & Boselli, 2000) si basa invece sul principio delle false tracce e lo si ottiene impiegando un maggior numero di erogatori (2000-4000 per ettaro) che liberano minore quantità di feromone (20-40 g/ha).

In linea generale, nelle aziende storicamente problematiche, l'integrazione tra la confusione/distrazione sessuale dei maschi e trattamenti insetticidi specifici sembra essere la tattica più logica e adottabile sia per contenere le popolazioni di *C. pomonella* sotto livelli di soglia accettabili che per contrastare l'eventuale insorgenza di fenomeni di resistenza (o di cali di efficacia in campo) dei principi attivi.

La soglia economica di intervento, individuata in 2 adulti catturati per trappola in 1 o 2 settimane (livello di catture difficilmente non superato) non rappresenta da sola un sicuro ausilio per la definizione del *timing* se non si conoscono anche alcuni aspetti della biologia dell'insetto come la proterandria e l'influenza della temperatura sugli accoppiamenti e sulle ovideposizioni: infatti, per effetto dell'anticipo nello farfallamento dei maschi, nel primo volo, le prime catture possono non essere rispettate; inoltre, bisogna considerare che, affinché si verifichino gli accoppiamenti, per almeno tre giorni in una settimana (anche non consecutivi) la temperatura al crepuscolo deve essere, per qualche ora, superiore a 15,6°C, mentre l'inizio delle ovideposizioni (periodo di pre-ovideposizione è valutato attorno ai 27,8 gradi giorno) è previsto 2-3 giorni dopo l'accoppiamento, purché le temperature crepuscolari siano superiori a 15°C (Boselli, Melandri, Pasqualini, Pradolesi, & Zelger, 2005).

Molto dell'esito finale della difesa dipende dal risultato conseguito nella lotta contro la prima generazione larvale. Di fondamentale importanza è l'individuazione del momento preciso di applicazione dei prodotti, variabile a seconda del principio attivo utilizzato. Le indicazioni dello stadio di sviluppo raggiunto dal fitofago vengono fornite dal modello previsionale MRV-carpocapsa e sono supportate, in campo, dalle trappole di monitoraggio degli adulti e dai controlli visivi.

1.2.3. I feromoni

I semiochimici (*semiochemicals*) sono un vasto gruppo di sostanze-segnale (“messaggeri”) con cui gli insetti comunicano tra loro o attraverso cui ricevono informazioni relative all’ambiente in cui vivono. Alcune sostanze sono attive a livello intraspecifico mentre altre a livello interspecifico: alle prime appartengono i feromoni (sessuali, di aggregazione, di aggressione, di dispersione, ecc.), alle seconde gli allelochimici.

L’impiego strategico dei semiochimici nella lotta agli insetti (zoosemiotica applicata) rientra nelle tecniche di lotta biologica moderna (Celli & Maini, 1988) (Cravedi, 2001).

I feromoni sessuali sono complesse miscele di composti chimici di cui uno è dotato di elevata attività biologica. La femmina li emette sottoforma di “pacchetti” di molecole che, trasportati dalla turbolenza dell’aria, costituiscono dei filetti odorosi (*pheromone plume*). Vengono recepiti da sensilli posti soprattutto sulle antenne del maschio (va tuttavia riportato che anche le femmine percepiscono i loro stessi feromoni). La sensibilità è elevatissima, al punto che sono sufficienti poche molecole per indurre la risposta comportamentale (volo orientato verso la sorgente) (Cravedi, 2001).

Il codlemone ((8E,10E)-8,10-dodecadien-1-olo) è il componente principale della miscela feromonica di *C. pomonella*. E’ stato identificato nei primi anni settanta (Roelofs W. L., 1971) e, oggi, è ampiamente utilizzato sia per il monitoraggio (catture-spia) che nei metodi diretti di difesa alternativi o di integrazione agli altri disponibili.

1.2.4. Le trappole

Le trappole a feromoni hanno seguito l'evoluzione della fitoiatria, diventando parte integrante della lotta guidata prima e poi di quella integrata, assumendo finalità che si sono modificate nel tempo in relazione alle innovazioni di prodotto e di metodo in campo fitosanitario.

Dei diversi settori applicativi delle trappole a feromone, il monitoraggio e la cattura di massa è quello che storicamente rappresenta il campo di impiego più diffuso a livello nazionale e mondiale.

Le prime esperienze di trappole a feromoni risalgono agli inizi degli anni '80 e la prima fu la "traptest" brevettata nel 1976, dalla forma originale, dotata di quattro aperture triangolari e di conseguenza definibile "onnidirezionale" come la "pherotrap IC" anch'essa aperta da tutti i lati.

Queste trappole chiamate impropriamente a "pagoda" si sono differenziate dalle trappole ad ala e nel corso degli anni si sono evolute trappole con solo due aperture o unidirezionali. La forma e la geometria influisce spiccatamente sulla formazione della scia odorosa; nelle trappole con solo due aperture si crea una scia più sottile di feromone che esercita una maggiore potere attrattivo verso certe specie di insetti, come nel caso dei maschi della *C. pomonella*. Le trappole innescate con codlemone sintetico, catturano i maschi adulti di *C. pomonella* indicando l'andamento degli sfarfallamenti (curva di volo) e fornendo una stima dell'ampiezza della popolazione del carpofo, elementi utili per stabilire il momento critico in cui effettuare gli interventi di lotta. Indicativamente viene collocata una trappola ad ettaro.

L'efficienza di questa tecnica di monitoraggio è legata al tipo di trappola, alla sua geometria, al tipo di innesco (*dispenser*) e alla sua capacità di emettere, in maniera prolungata e costante, l'attrattivo sintetico. Vengono normalmente impiegate le trappole a colla (*sticky traps*) perché più economiche e più performanti in termini di cattura dei maschi anche se, per contro, sono meno pratiche da usare, permettono un'identificazione più difficoltosa degli individui catturati ed hanno una breve durata (Knodel & Agnello, 1990)

(Vincent, Mailloux, Hagley, Reissing, Coli, & Hosmer, 1990). Accinelli *et al.* (1998) hanno dimostrato che il *design* delle trappole è di notevole importanza per determinare l'efficienza delle catture, soprattutto l'ampiezza delle aperture: infatti, la loro riduzione influenza positivamente la conformazione della *pheromone plume* in uscita e, nel contempo, svolge effetto “nassa” ostacolando la fuga degli insetti penetrati all'interno. A parità di tipologia di trappola, maggiori catture si ottengono con *dispenser* attivati con 1 mg di codlemone (Trematerra & Sciarretta, 1998), mentre dal punto di vista cromatico, le trappole color verde risultano più attrattive e più selettive nei confronti di insetti *no-target* (Knight & Miliczky, 2003).

Il monitoraggio consiste nell'attrarre i maschi di una determinata specie in una trappola innescata con il feromone per segnalarne innanzitutto la presenza o l'inizio degli sfarfallamenti e, in secondo luogo verificare se è stata raggiunta la “soglia economica di intervento”, definita per alcuni fitofagi e colture ed espressa generalmente in numero di catture per trappola in una o due settimane oppure dall'inizio del volo (soglia cumulativa). La “soglia di intervento” introdotta nella lotta guidata, non è espressa solamente in numero di catture di adulti/trappola/settimana ma stabilisce anche, con un numero o una percentuale, il livello massimo accettabile di infestazione di uova, larve, mine, follicoli su foglie, rami, mazzetti fiorali, frutti e grappoli, valutato in campo con controlli visuali, per certi fitofagi e colture in precise fasi fenologiche.

I valori delle soglie di intervento, riportati nei disciplinari regionali di produzione integrata, vanno considerati non come dei dati assoluti da applicare in ogni situazione, ma come indicazione empirica da adattare in base alle conoscenze sul comportamento di quel fitofago acquisite negli anni in una determinata zona.

Una volta superato il valore soglia, l'epoca esatta per l'intervento insetticida sarà scelta tenendo conto del meccanismo di azione del prodotto impiegato e dello stadio di sviluppo dell'insetto sensibile a questo (es. uovo o larva neonata).

La segnalazione dell'inizio dello sfarfallamento dei maschi, che in certe specie precede di alcuni giorni quello delle femmine (fenomeno della proterandria), è invece importante per decidere quando applicare per la confusione e la distrazione sessuale e per seguire la dinamica dei voli negli appezzamenti vicini non in confusione oppure quando effettuare il lancio degli insetti utili.

Negli appezzamenti sottoposti a distrazione sessuale, la trappola a feromoni è un importante strumento di verifica della tenuta del sistema, in quanto essa rimane in concorrenza con le tracce feromonalı emesse dagli erogatori, a loro volta in competizione con quelle delle femmine vergini e quindi con l'eventuale presenza di catture non occasionali di maschi, rappresenta un segnale di rischio (Maini & Accinelli, 2000).

Il monitoraggio permette di seguire la dinamica della popolazione e tracciare la curva di volo mettendo in evidenza il numero di generazioni. È di aiuto nello stabilire la scelta per seguire certi rilievi, come quelli dell'ovodeposizione o dell'attacco larvale, necessari per decidere il trattamento insetticida.

Le trappole a feromoni, data la loro sensibilità anche a basse popolazioni, consentono di valutare la presenza di una nuova infestazione su una coltura, di monitorare certi fitofagi di quarantena, di seguire nel lungo periodo la distribuzione e l'andamento di una popolazione.

L'impiego e la lettura delle trappole non dovrebbe esser solamente compito dell'assistenza tecnica ma l'agricoltore dovrà rendersi maggiormente autonomo inserendosi nel sistema di avvertimento anche attraverso strumenti informatici e telematici di comunicazione.

Per effettuare un corretto monitoraggio occorre installare le trappole ad altezza d'uomo evitando di metterle all'interno della chioma, troppo coperte e in posizione medio-alta.

Il conteggio dei maschi dovrebbe esser effettuato almeno una volta alla settimana o più frequentemente in particolari periodi, e sempre comunque negli stessi giorni. Anche se tra una visita di controllo e l'altra non vi sono state catture bisogna comunque annotare sulla scheda di campagna.

La manutenzione delle trappole spesso è una pratica che necessita di tempo, il fondo collato va ripulito periodicamente da insetti che accidentalmente sono entrati e di conseguenza rimasti invischiati e quando troppo alterato va sostituito. Gli erogatori vanno sostituiti periodicamente e nel caso venga svolto un monitoraggio per più specie di insetti, bisogna far attenzione di non toccare erogatori diversi per non portare tracce di feromone.



Figura 7 Traptest, detta anche “trappola a pagoda”



Figura 8 Pomotrap, con solo due aperture

1.2.5. Evoluzione delle trappole

Negli ultimi anni la necessità di una maggiore precisione nei trattamenti e nel controllo delle infestazioni dovuta alla messa al bando di molti principi attivi per la loro tossicità e lunga persistenza nell'ambiente unita alla comparsa dei fenomeni di resistenza ai nuovi principi attivi ha comportato la necessità di un cambiamento importante nei metodi di lotta. I nuovi metodi di lotta (Paragrafo 1.2.2) richiedono una tempistica di azione molto più rapida e precisa rispetto ai metodi a calendario utilizzati nel passato, tempistica che spesso va in conflitto con la reale disponibilità di tempo di chi opera in campagna, come il controllo periodico delle trappole per il monitoraggio dei voli degli insetti. Per questa ragione si sta cercando l'integrazione della informatica, dell'elettronica e delle telecomunicazioni alle tecniche di monitoraggio degli insetti dannosi in agricoltura.

Le tecnologie utilizzabili per essere integrate al monitoraggio degli insetti sono svariate, quelle che al momento si stanno rivelando maggiormente promettenti per essere integrate al monitoraggio degli insetti sono: sistemi ottici, sistemi a video analisi, sistemi sonar, identificazione a radio frequenze, sistemi ad infrarosso e sistemi acustici. (Reynolds D.R., 2002) (Neethirajan S., 2007). Tutte queste tecnologie possono essere utilizzate sia per scopi prettamente scientifici, quali una maggiore conoscenza della biologia e dell'ecologia degli insetti, sia per scopi pratici quale il controllo della popolazione infestante.

Per quanto riguarda l'integrazione della tecnologia al monitoraggio degli insetti al fine di valutare la popolazione presente, i primi lavori riguardanti questa nuova tipologia di sistemi risalgono alla fine degli anni '90 e riguardavano soprattutto il monitoraggio di insetti dannosi nei magazzini alimentari. Le specie interessate erano normalmente coleotteri come il *Cryptolestens ferrugineus* (Stephens) e il *Tribolium castaneum* (Herbst), insetti che si sono adattati all'ambiente di stoccaggio dei magazzini di cereali e granaglie in generale. Normalmente questi insetti infestano le cariossidi sia

nella fase larvale sia in quella adulta si muovono all'interno di un ambiente confinato e di conseguenza maggiormente controllabile rispetto al campo.

Una delle prime esperienze di monitoraggio in cui l'elettronica è stata impiegata per il controllo dell'infestazione di una specie di insetti ha previsto l'integrazione di una bilancia elettronica ad una trappola modificata collegata ad un centro di elaborazioni dati. L'insetto penetrando all'interno della trappola cadeva all'interno di un contenitore posizionato sulla bilancia, il sensore inviava al centro di elaborazione la variazione del peso del contenitore, il quale elaborando la variazione di peso risaliva al numero di catture (Ho S. H., 1997). Questo metodo di studio era indiretto per la valutazione dell'infestazione in atto nel magazzino, cioè non eseguiva un conteggio diretto delle catture effettuate dalla trappola, ma questo derivava nasceva dal rapporto tra il peso degli insetti catturati e il peso standardizzato dell'insetto in esame. Si aveva di conseguenza un valore approssimativo del numero di catture, ma garantiva comunque un'idea sufficientemente veritiera dell'entità dell'infestazione in atto nel magazzino.

Successivamente sono stati sviluppati sistemi di monitoraggio diretti per il conteggio delle catture. Questi sistemi che si basavano su trappole comunemente usate per gli insetti da magazzino nei quali era stato inserito all'ingresso della trappola un contatore all'infrarosso che segnava la cattura nel momento in cui l'insetto veniva catturato (Epsky N.D., 2001) e (Toews M. D., 2003). In questi sistemi il conteggio degli insetti era direttamente correlato al numero degli insetti realmente catturati dalla trappola, ma non erano selettivi, in quanto potevano essere catturati dalla trappola e, quindi conteggiati, anche altre specie di insetti che infestavano il magazzino. In questo caso però le catture secondarie di insetti non desiderati era quasi influente ai fini della valutazione dell'infestazione, in quanto l'insetto che era in analisi, *Cryptolestens ferrugineus* presenta un elevato numero di catture, catture che possono superare il migliaio di adulti alla settimana (Toews M. D., 2003).

Uno dei primi lavori con l'utilizzo di un sistema ottico nel monitoraggio, aveva come scopo quello di realizzare un sistema che permettesse una rapido conteggio degli insetti e delle impurità presenti nel grano stoccato nel magazzino. Il sistema si basava su una videocamera montata su un collettore in cui passava il grano per essere convogliato nel magazzino, durante il passaggio del grano la videocamera procedeva a fotografare la massa passante. Le immagini venivano inviate ad un sistema di elaborazione dati e analizzate da un software basato su una rete neurale realizzata appositamente allo scopo, il quale discriminava gli insetti dalle cariossidi in base alla forma dei soggetti presenti nella fotografia. (Ridgway C., 2002).

Tutti i lavori citati si riferiscono a sistemi utilizzati in ambienti confinati come i magazzini di stoccaggio, in cui la variabilità ambientale è molto ridotta e le specie in esame molto limitate. In campo invece le situazioni sono completamente diverse e richiedono studi molto mirati per l'insetto che si vuole monitorare.

In bibliografia al momento non sono stati trovati lavori su trappole elettroniche per il monitoraggio di insetti.



Figura 9 Trappola ad imbuto

2. MATERIALI E METODI

Il sistema studiato e realizzato si basa su una trappola standard per il monitoraggio di *Cydia pomonella* di provata efficacia, modificata per le esigenze di questo lavoro e integrata da un sistema di rilevamento e di acquisizione dei dati di cattura e successiva trasmissione di questi ad un centro di raccolta dati.

Il sistema di conteggio delle catture è di tipo ottico, in modo da avere delle immagini delle catture in quanto la Carpocapsa, come visto nei *Paragrafi 1.2.1 e 1.2.2*, presenta una bassissima soglia di intervento e di conseguenza è di fondamentale importanza che il sistema riveli con estrema precisione se vi è stata la cattura. Sistemi di conteggio a infrarossi che segnalano quando avviene l'ingresso da parte dell'insetto nella trappola non garantiscono una sufficiente garanzia in quanto potrebbero entrare nella trappola, e quindi esser conteggiati, altri lepidotteri o insetti. Su una soglia di 2 maschi come ha la carpocapsa, un adulto segnalato in più o in meno può compromettere l'azione di difesa e comportare un danno ingente al frutticoltore. Occorre quindi un sistema di monitoraggio molto accurato.

Il sistema elettronico di monitoraggio inizialmente individuato ha subito una continua evoluzione ed è stato testato in campo per tre anni consecutivi, durante le campagne estive del 2007, 2008 e 2009.

Il primo prototipo è stato realizzato nei primi mesi del 2007 e messo in campo nella primavera dello stesso anno. A seguito dei risultati ottenuti e delle valutazioni che sono state fatte il prototipo è stato rivoluzionato nella componentistica nel 2008 ed è stato provato durante la campagna del 2008 ed è stato mantenuto invariato nella campagna del 2009.

Attualmente è in corso di realizzazione il nuovo prototipo, frutto di un'ulteriore evoluzione, mirato soprattutto alla miniaturizzazione della componentistica di base.

2.1. La trappola

La trappola di cattura è stata realizzata partendo da una trappola tradizionale di provata efficacia, la Pomotrap della ditta Isagro. In relazione all'esigenza di visione della superficie vischiosa a livello della quale avvengono le catture, la parte superiore dell'involucro è stata sostituita, mantenendone inalterate la forma e le dimensioni, con una pellicola di plastica trasparente. Tale pellicola è stata incollata e fissata alla base della Pomotrap senza modificare in nessun modo le due aperture frontali per evitare che vi fossero variazioni sulla scia feromonica rilasciata dal diffusore di feromoni.

Per la modalità con cui la trappola così modificata veniva integrata al sistema di acquisizione e trasmissione dati si rimanda ai paragrafi 2.2.1 e 2.2.2 in quanto la sua disposizione all'interno del sistema ha avuto successive modifiche.

Per quanto riguarda la riduzione delle catture accidentali ci si è basati sulla selettività del feromone, che per quanto riguarda la carpocapsa, da prove effettuate risulta essere uno dei più selettivi nei riguardi della specie (Accinelli G., 1998).

La trappola modificata per la cattura di *Cydia pomonella* è rimasta inalterata nelle successive evoluzioni del prototipo di prova.



Figura 10 Pomotrap modificata

2.2. Il sistema di acquisizione e trasmissione dei dati

Il sistema elettronico di monitoraggio che è stato realizzato, è suddiviso in tre blocchi: un sistema di visione, la trappola (*Paragrafo 2.1*) e un sistema di trasmissione delle immagini ottenute. (Figura 11)

Il primo blocco, costituito dal sistema di visione, ha come scopo il fotografare l'insetto nella zona in cui avviene la cattura, il secondo blocco ha avuto lo scopo appunto di catturare l'insetto e di permetterne la visione da parte del sistema ottico, mentre l'ultimo blocco doveva immagazzinare le immagini che gli provengono dal sistema di visione e nel contempo garantire la trasmissione di queste ad un centro remoto gestito dall'utente quando esegue l'accesso al sistema.

Il sistema di visione scelto si è basato su una videocamera di rete, questo perché al momento della progettazione del sistema non erano presenti sul mercato fotocamere che ci consentissero di esser controllate in remoto e con una programmazione dei tempi di scatto della fotografia. La videocamera di rete ha di norma anche una serie di ingressi e di uscite che permettono il collegamento con altri accessori, quali per esempio un illuminatore, che possono esser programmati per attivarsi nel momento in cui deve avvenire lo scatto della fotografia.

La trasmissione dati è stata modificata durante le tre annate di prova e di conseguenza la loro descrizione verrà fatta nei relativi *Paragrafi 2.2.1.4 2.2.2.3 e 2.2.2.4*.

Vista la necessità di porre il sistema di monitoraggio in campo aperto in cui l'alimentazione di rete è difficile, se non impossibile, raggiungibile è stato utilizzato un sistema fotovoltaico, il cui dimensionamento è stato dimensionato in relazione ai consumi della strumentazione (*Paragrafi 2.2.1.2 e 2.2.2.1*).

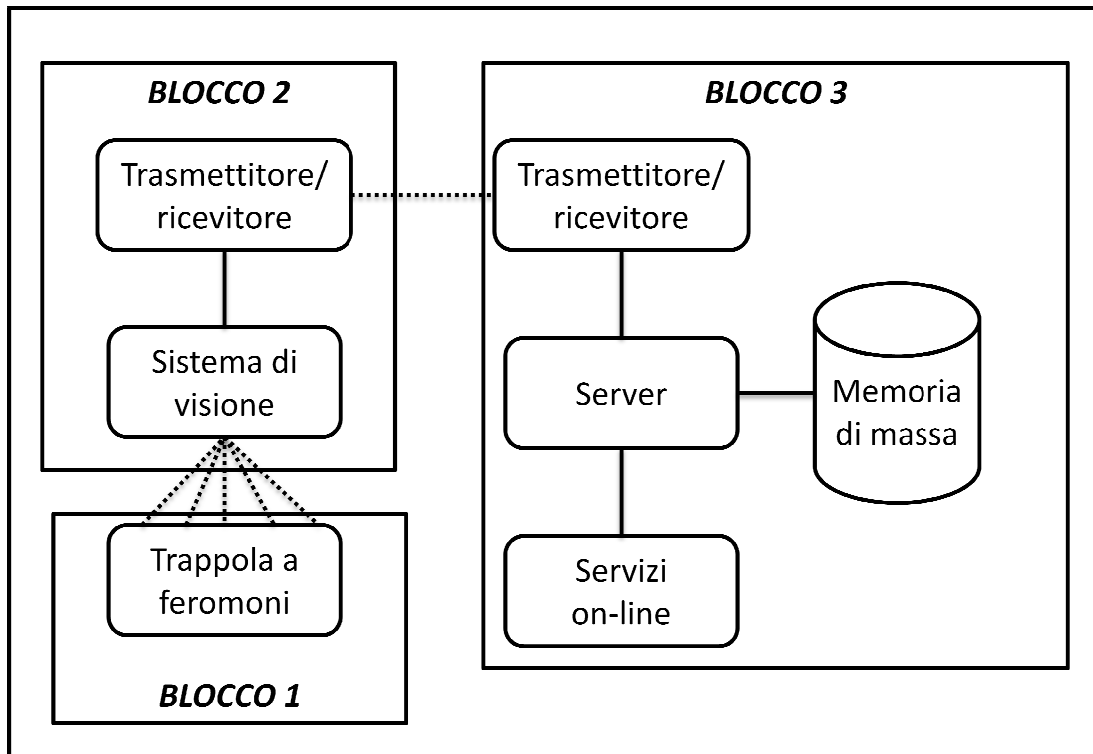


Figura 11 Schema del principio di funzionamento del prototipo

2.2.1. Il primo prototipo del sistema di monitoraggio

2.2.1.1. *La componentistica del sistema*

Il primo prototipo costruito nel 2007 e provato in campo nello stesso anno era costituito da: una videocamera di rete, da un modem wireless, da un sistema di illuminazione, da un regolatore di carica, da un pannello solare, da una batteria, da un palo di sostegno e dal sistema dei cablaggi.

Il sistema di visione era costituito da una videocamera di rete professionale Vivotek modello IP7138. La Vivotek IP7138 possiede di un sensore da 1,3 megapixel CMOS con risoluzione massima di 1280 x1024 pixel ed è adatta ad applicazioni di sorveglianza e monitoraggio remoto. Il processore interno permette di generare uno stream doppio con differenti risoluzioni e qualità video per PC (MPEG-4 o MJPEG) o per 3G (MPEG-4), quest'ultimo permette il monitoraggio di ambienti per mezzo di cellulari 3G. Le risoluzioni utilizzabili sono le seguenti: 1280 x1024 pixel, 800 x 600 pixel e 640 x 480 pixel. A seconda del hardware con cui viene effettuato l'accesso (computer o telefono cellulare) in automatico il processore utilizza una risoluzione piuttosto che l'altra. Quando l'accesso avviene tramite il computer in automatico la videocamera visualizza le immagini alla massima qualità (1280 x 1024 pixel), mentre se l'accesso avviene tramite telefono cellulare, la videocamera si predispone al livello di dettaglio d'immagine minore (640 x 480 pixel). Questo permette una maggiore velocità di connessione e permette una rapida visione di quello che è stato catturato quando il controllo avviene tramite cellulare e consente una maggiore fluidità nel controllo delle impostazioni. Inoltre permette di aver accesso al sistema di monitoraggio anche quando ci si trova in una zona in cui la connessione 3G non è ottimale. È comunque sempre possibile passare alla risoluzione migliore quando si voglia valutare l'immagine al più alto dettaglio.

Il software della telecamera è in grado di gestire più utenze contemporaneamente fino ad un massimo di 10.

Sulla parte posteriore della videocamera vi sono 4 canali d'interfaccia d'ingresso e uscita per sensori e illuminatori. Questi ingressi possono esser comandati tramite il programma della Vivotek oppure se il sensore lo permette, d'essere automatici.

Sempre nella parte posteriore della Videocamera è collocata la presa ethernet per il suo collegamento al computer o al modem.

La videocamera dispone di uno slot Compact Flash in cui si può inserire una scheda di memoria nella quale sono immagazzinabili localmente video e fotografie, questo consente di ampliare la memoria della videocamera e di salvare le immagini anche per lunghi periodi.

La Vivotek IP7138 è predisposta per diversi tipi di protocolli di connessione: DDNS, DHCP, DNS, FTP, HTTP, IGMP, NTP, PPPoE, RTCP, RTP, RTSP, SMTP, TCP/IP, uPnP, permettendo in questo modo l'accesso tramite diverse tipologie di rete e di connessione.

La videocamera Vivotek nasce per un utilizzo da interno e di conseguenza non è possibile collocarla in campo dove, senza un adeguato sistema di protezione le avversità meteorologiche la danneggerebbero irrimediabilmente. In virtù di ciò per permettere la sua collocazione in campo è stata costruita una custodia in polycarbonato alveolare di 3 mm di spessore non trasparente, all'interno della quale alloggiarla.

La funzione della custodia non è solo quella di proteggere la telecamera, ma è stata progettata per poter alloggiare nella sua parte basale la Pomotrap modificata. Inoltre il fatto di non esser trasparente garantisce che una eccessiva luminosità vada a alterare la visione da parte della telecamera, soprattutto nelle prime ore del mattino quando i raggi solari sono perpendicolari all'asse di visione.

La forma di tale custodia era tronco conica con un'apertura superiore di 5X5 mm e un'altra inferiore di 8 di lunghezza e 8 di larghezza e lunga dalla linea di colmo alla base 420 mm. La videocamera veniva inserita dall'apertura superiore e fissata tramite viti e bulloni su una piastra metallica posta all'interno della custodia. La piastra era collegata ad una asta di supporto che

attraversava la custodia e che veniva fissata al palo tramite viti e bulloni. Una volta inserita la trappola l'apertura superiore veniva chiusa con uno sportellino costruito con lo stesso materiale della custodia da dove fuoriescono i cavi di alimentazione e della rete lan. Nella parte sottostante della custodia trovava collocazione la Pomotrap modificata. Questa veniva inserita da sotto e fissata da due alette posizionate nei due lati lunghi della custodia, l'ancoraggio era stato studiato per impedire l'eventuale spostamento della Pomotrap modificata a seguito a fenomeni meteorologici anche intensi. (Figura e Figura)

A seguito di varie prove per la determinazione della distanza minima tra la Pomotrap e la telecamera si è trovata una distanza ottimale di 350 mm, con la quale si aveva un'immagine nitida e definita della zona di cattura da parte del sistema di visione.

Durante il giorno la luminosità che penetrava all'interno della Pomotrap modificata attraverso le due aperture laterali era sufficiente per avere un'immagine nitida e non scura del fondo di cattura collato. Per visione notturna e durante le giornate molto nuvolose ci siamo affidati ad un sistema di illuminazione a Led che collegato alla telecamera veniva attivato solo nel momento in cui vi era lo scatto della fotografia e di conseguenza rimaneva acceso solo per una frazione di secondo, questo per evitare catture fuori target di insetti che, attirati dalla luce dell'illuminatore, sarebbero entrati nella trappola. La temporizzazione per l'accensione del sistema di illuminazione era comandato tramite il programma specifico della telecamera e sincronizzato allo scatto della fotografia.

La temporizzazione scelta è stata una foto ogni mezz'ora, questo ci garantiva un buon numero di immagini giornaliere.

La videocamera è stata abbinata ad una scheda di memoria da 2 GB in cui le fotografie scattate venivano salvate in automatico dal programma.

La videocamera è stata collegata tramite cavo Ethernet ad un modem wireless, il quale consentiva la connessione al computer per il trasferimento delle immagini.

L'alimentazione di tutto il sistema di monitoraggio era affidato ad un pannello solare da 20W. Il regolatore di carica solare, Steca PR 0505, pilotava il flusso di energia dal pannello solare alla batteria e alla strumentazione, mantenendo in carica la batteria solo questa scendeva sotto ad una determinata soglia, in modo da evitarne il sovraccarico e consentendo l'alimentazione di tutto il sistema sia durante il giorno sia durante la notte.

Si è utilizzata una batteria da 18 Ah in quanto dai calcoli per i consumi previsti per le varie componenti del sistema risultavano sufficienti all'utilizzo (*Paragrafo 2.2.1.2*).

Data la necessità di proteggere dalle intemperie tutta l'elettronica sono state predisposte due scatole da elettricista in cui collocare l'hardware. Nella prima trovavano collocazione il regolatore di carica, il modem Wireless e l'alimentatore della videocamera, nella seconda per ragioni di sicurezza è stata collocata solo la batteria. In entrambe le scatole sono stati praticate delle aperture per permettere il passaggio dei cavi di collegamento. Dalla prima venivano fatti passare il cavo ethernet di collegamento tra il modem e la videocamera, l'alimentatore della video camera, il cavo del pannello solare e il cavo di collegamento alla batteria verso la seconda scatola di cablaggio.



Figura 12 e Figura 13 La videocamera Vivotek IP7138



Figura 14 e Figura 15 La custodia di alloggiamento videocamera e pomotrap

2.2.1.2. *Dimensionamento dell'impianto d'alimentazione*

Per dimensionare il sistema di alimentazione ci siamo basati sulla necessità dei singoli componenti, in particolare la videocamera, il modem, il regolatore di carica e il sistema di illuminazione. Tutti i componenti lavorano a 12 V in corrente continua.

La videocamera presenta consumi massimi di 4,4W, ma dato che il suo utilizzo è legato soltanto al momento in cui avviene lo scatto della fotografia (con una durata dell'attività di qualche secondo) e nel resto del tempo rimane in stand-by ha un consumo che è meno di un decimo della potenza massima.

Il modem ha consumi dell'ordine di 5W e il regolatore di carica ha un consumo interno di soli 0,036W.

Il sistema di illuminazione ha un consumo pari a 1W, ma questi essendo sincronizzato con lo scatto della fotografia e di conseguenza ha la durata di qualche frazione di secondo, presenta un consumo trascurabile al fine del dimensionamento del sistema di alimentazione.

La potenza totale oraria necessaria sarà di conseguenza:

$$Potenza\ totale = P\ videocamera + P\ modem + P\ Regolatore\ di\ carica$$

$$0,44 + 5 + 0,036 = 5,48\ W$$

che riportati alla 24 ore ci porta un valore di:

$$24 \times 5,48 = 131,42\ Wh$$

Questo valore di potenza ci è servito per dimensionare la potenza del pannello fotovoltaico, il quale deve essere in grado di fornire l'energia richiesta. Se consideriamo che il funzionamento del pannello è concentrato in 8 ore, la potenza che deve erogare è pari alla potenza richiesta giornalmente diviso per le sue ore di massimo funzionamento, di conseguenza sarà:

$$\frac{131,42}{8} = 16,43 \text{ W}$$

Il pannello solare con potenza più prossima a questo valore è di 20 W.

La capacità delle batterie, ovvero la quantità di carica elettrica che può essere immagazzinata, è comunemente espressa in ampere-ora (Ah), dove 1 Ah equivale a 3600 coulomb. Per ottenere l'energia in wattora è necessario moltiplicare la capacità in Ah per la tensione nominale.

Una batteria da 1 Ah può erogare una corrente di 0,1 ampere per dieci ore prima di scaricarsi.

Per il dimensionamento della capacità della batteria si è utilizzata la seguente rapporto:

$$\text{Capacità richiesta(Ah)} = \frac{\text{Ore di utilizzo} \times \text{Potenza}}{\text{Voltaggio}}$$

Considerando che il nostro fabbisogno orario è di 5,48 W, la tensione nominale è di 12 V. considerando che il pannello lavora in fascia ottimale 8 ore restano :

$$24 - 8 = 16 \text{ ore}$$

Per cui la potenza richiesta sarà:

$$\frac{16 \times 5,48}{12} = 7,3 \text{ Ah}$$

Sarebbe stata sufficiente una batteria da 7,3 Ah, ma abbiamo preferito aumentare questo valore di un 50%, di conseguenza il valore di potenza diventa:

$$7,3 \times 1,5 = 11 \text{ Ah}$$

La batteria solare successiva a questo valore è di 18 Ah.

2.2.1.3. Costi del sistema

Per la costruzione del sistema di monitoraggio del 2007 sono stati spesi in tutto 2152 euro dove il costo maggiore è stato per la videocamera e il sistema di alimentazione. I costi in dettaglio sono presentati in *Tabella 1*

Tabella 1 costi di realizzazione del sistema di monitoraggio del 2007

Telecamera Vivotek modello IP713	€ 1240
Scheda di memoria per registrazione interna	€ 20
Router Switch,	€ 100
Cavi elettrici e cablaggi vari	€ 50
Palo di supporto	€80
2 Scatole IP66	€80
Pannello solare	€ 800
Batteria	€78
Regolatore di carica	€56
Multi presa	€ 8
Totale	€ 2152

2.2.1.4. *Sperimentazione in campo*

Il campo scelto per la collocazione del sistema era l'Azienda agricola "La colombarola" situata nella zona collinare del Farneto, nella prima provincia di Bologna. L'azienda agricola è prevalentemente di tipo frutticolo e le coltivazioni sono seguite con il sistema biologico e di conseguenza non sono previsti trattamenti di nessuna sorta. La trappola è stata collocata nel versante Est dell'azienda, zona adibita a noceti da legname.

È stato scelto il noceto in quanto non venendo effettuati trattamenti si pensava che la presenza di *Cydia pomonella* fosse maggiore rispetto a frutteti seguiti con la normale lotta guidata.

La trappola è stata posizionata tra il secondo e terzo albero nel quarto filare di noci, inoltre sono state posizionate altre due trappole tradizionali Pomotrap come controllo, la prima è stata collocata tra il decimo e undicesimo albero della seconda fila, la seconda tra sesto e settimo albero del ottavo filare.

La trappola è stata posizionata in campo dal 15 maggio 2007 al 20 settembre 2007.



Figura 16 e Figura 17 Il prototipo presso l'Azienda agricola "La colombarola"

Il temporizzatore degli scatti è stato programmato per effettuare una fotografia ogni mezz'ora e il trasferimento delle immagini avveniva tramite connessione wireless ogni settimana.

Alla trappola era stato associato un indirizzo di rete IP statico e il trasferimento dei dati avveniva tramite connessione wireless, connettendo un computer al modem Wireless del sistema di monitoraggio. Il trasferimento delle immagini dalla memoria della videocamera al computer avveniva utilizzando il programma Ftp: WS Ftp Professional.

In corrispondenza al trasferimento delle immagini avveniva il controllo delle trappole tradizionali e della trappola a monitoraggio automatico, inoltre veniva controllato lo stato di funzionamento del sistema e veniva presa nota delle catture. Per singola trappola venivano segnate il numero delle catture per gruppo tassonomico, questo per valutare l'incidenza delle catture non desiderate di altre specie rispetto a *Cydia Pomonella*. Sono stati presi in considerazione 8 gruppi tassonomici: *Cydia pomonella*, Aracnidi, Coleotteri, Ditteri, Imenotteri, Lepidotteri, Ortotteri e Vari. Nei vari gruppi venivano segnate le specie di maggiore dimensione e quelle facilmente distinguibili per gruppo tassonomico, nel gruppo dei Vari rientravano tutte le specie di piccola dimensioni non categorizzabili ad un specifico gruppo ad una veloce analisi in campo.

2.2.2. Il secondo prototipo del sistema di monitoraggio

Rispetto alla campagna estiva del 2007, nelle due campagne successive il sistema è stato completamente rinnovato. La telecamera Vivotek è stata sostituita da una più potente e più performante telecamera Sony modello SNC-Z20P, che è stata ritenuta la più idonea per le sue specifiche caratteristiche. La SNC-Z20P possiede un dispositivo di immagine CCD 1/4" IT con tecnologia Exwave HAD ad alto rendimento che garantisce un'alta qualità di immagine con un numero di pixel effettivi di 752 x 582, che unita ad un'ottica zoom 18x auto-focus integrata, garantisce immagini nitide anche se sottoposte ad ingrandimento, con una distanza minima di funzionamento di 10 mm in modalità a campo largo (wide) e di 800 mm in modalità stretta (tele). (Figura 19 e Figura 20)

Uno dei punti forti nell'ottica di questa telecamera è dato dalla funzione BLC (Backlight Compensation), che permette di superare gli effetti della retroilluminazione che mettono in ombra l'insetto catturato dall'immagine. La luminosità dell'immagine si regola automaticamente e consente di effettuare cambiamenti nelle condizioni di luce, ottimizzando la nitidezza dell'immagine anche nelle condizioni di luce più avverse, quali il caso di luce frontale al sensore. Altra caratteristica importante di questa videocamera è la sua funzione giorno/notte che ottimizza la qualità dell'immagini sia nelle riprese notturne che diurne. Quando l'illuminazione dell'ambiente si riduce e le immagini acquisite si oscurano, automaticamente il filtro degli infrarossi viene rimosso e la telecamera si commuta in modalità bianco/nero, richiedendo così solo un'illuminazione minima di 0,01 lux. Questa funzione permette di monitorare la trappola anche dopo il crepuscolo. La scelta di un sistema di visione che permettesse l'utilizzo degli infrarossi nasce dall'esigenza di sostituire l'illuminatore a led, a seguito dei problemi che erano sorti nell'anno precedente, e come verrà dettagliato nel *Paragrafo 4.1.2*.

Per quanto riguarda il programma di interfaccia la SNC-Z20P è dotato di interfaccia 100Base-TX/10Base-T (RJ-45) e di web server integrato. Questo

consente ad un personal computer con web browser standard di monitorare immagini in diretta e controllare l'unità senza bisogno di ulteriori software. Il sistema di interfaccia è in grado di gestire cinquanta utenze che possono accedere, monitorare e controllare contemporaneamente le immagini di una telecamera SNC-Z20P. La memoria interna è di 8MB, ma è espandibile tramite scheda di memoria.

Lo slot per scheda PC-Card integrata nel pannello frontale permette di alloggiare dispositivi di vario tipo come una memory card ATA flash o una scheda PC wireless compatibile con IEEE 802.11b che consente il funzionamento in una rete wireless.

Protocolli di comunicazione supportati sono: TCP/IP, ARP, ICMP, HTTP, FTP, SMTP, DHCP, DNS, NTP e SNMP (MIB-2) permettendo in questo modo l'accesso tramite diverse tipologie di rete e di connessione. È anche supportato il protocollo 3G permettendo di connettersi tramite telefono cellulare di ultima generazione e di visualizzare in live le immagini provenienti dalla telecamera nonché di poter scaricare le immagini dalla memoria interna. La SNC-Z20P nasce come telecamera da interni, e per sistemarla all'esterno è stata collocata nella sua custodia per esterno SNCA-HFIXED progettato per resistere all'intemperie e ad un'umidità ambientale del 100%. (Figura 20 e Figura 21)

La custodia è costituita da una custodia parallelepipedica in alluminio smaltato apribile superiormente. Da un lato è provvista di un vetro e dall'altra trova collocazione il sistema di ventilazione e i connettori dell'alimentazione per la telecamera. Il sistema di ventilazione forzato interno evita il verificarsi di condense sulla superficie interna del vetro posto frontalmente, nel caso che la temperatura si abbassi, e permette il raffreddamento della videocamera.

All'interno della custodia è predisposto un binario sul quale è stato ancorata la videocamera e posizionata a 30 mm dal vetro.

La custodia è provvista di due aperture nella parte basale che permettono il passaggio del cavo di rete e del cavo di alimentazione. Il cavo di alimentazione si collega alla scatola e tramite un collegamento secondario

viene collegata la telecamera, mentre il cavo di rete viene collegato direttamente alla telecamera.

In virtù del sistema di visione all'infrarosso della SNC-Z20P, al posto del sistema di illuminazione a led, è stato predisposto un illuminatore a infrarossi Raytec RM 25, che montato vicino alla telecamera e con il fascio di illuminazione diretto sulla trappola permette di illuminare la zona sottostante alla telecamera, con un angolo di copertura di 120°. Una fotocellula collegata all'illuminatore ne permette l'attivazione quando la luminosità dell'ambiente scende al di sotto di quella supportata dalla telecamera in modalità diurna

Il consumo massimo previsto era di 10W con un unità di alimentazione integrata da 12 VDC/24 VAC e progettata per lavorare in esterno. (Figura 22 e Figura 23)

Data la maggiore complessità del sistema è stata scelta, invece di collegare tutta l'alimentazione al regolatore di carica, di introdurre nel sistema un inverter per trasformare i 12V in uscita dal regolatore in una tensione di 240VAC . All'uscita dell'inverter è stata collegata una multipresa dove hanno trovato connessione le prese degli alimentatori del modem Wireless, della videocamera e dell'illuminatore all'infrarosso.

È stato pertanto potenziato il sistema di alimentazione, utilizzando un pannello solare da 50W e una batteria da 70 Ah. Il sistema di alimentazione è stato dimensionato per un utilizzo sperimentale, con una grossa richiesta di trasferimento dati tra il sistema e la stazione di monitoraggio e di conseguenza è risultato molto superiore alle reali necessità di campagna. Per il suo dimensionamento si rimanda al *Paragrafo 2.2.2.1*

Anche per questo prototipo sono stata predisposte due scatole da elettricista in cui collocare tutta l'elettronica che non può esser esposta alle intemperie. Nella prima trovavano collocazione il regolatore di carica, il modem Wireless l'alimentatore della videocamera, l'alimentatore dell'illuminatore ad

infrarossi, l'inverter e una multi presa. Nella seconda per ragioni di sicurezza è stata collocata solo la batteria.

Il cavo del pannello solare è stato fatto passare da una delle aperture della scatola di cablaggio e collegato all'inverter, dal quale, partono i due cavi, di cui uno andrà a collegarsi alla batteria posta nella seconda scatola e l'altro all'inverter.

L'inverter poi è collegato ad una multipresa dove trovano, collocazione le spine del modem, dell'alimentatore della telecamera e dell'illuminatore infrarosso. Attraverso l'apertura della scatola di cablaggio sono stati fatti passare il cavo di alimentazione della videocamera e il cavo Ethernet che collega il router wireless alla SNC-Z20P. Il cavo Ethernet è stato collegato direttamente alla porta Ethernet della videocamera mentre il cavo di alimentazione è stato collegato prima ai connettori di alimentazione della custodia SNCA-HFIXED da cui poi attraverso un collegamento secondario è stata alimentata la SNC-Z20P.

A seguito dei risultati ottenuti nella campagna dell'anno 2007, si è deciso di sviluppare due tipologie di trasmissione dati diverse, una basata sull'utilizzo dei nuovi protocolli di telefonia UMTS e l'altra via wireless. Il primo appare il più promettente per l'utilizzo in campo, dato che con questa tecnologia il tecnico può collegarsi tramite cellulare direttamente alla trappola e controllare immediatamente se c'è stata cattura oppure no, consentendo di monitorare la trappola ovunque egli si trovi.

La tecnologia wireless è stata predisposta per connettere più trappole ad un unico server centrale che gestirà la banca dati con le immagini delle catture. Il tecnico potrà accedere alla banca dati direttamente dal PC aziendale o tramite web.

Da qui tramite il programma della telecamera, l'operatore è in grado di modificare tutte le impostazioni del sistema di acquisizione dati e di scaricare le foto tramite un programma di File Transfer Protocol (ftp).

A seguito di varie prove per la determinazione della distanza minima tra la Pomotrap e la telecamera è stata trovata una distanza ottimale di 800 mm, distanza con la quale si aveva un'immagine nitida e definita della zona di cattura da parte del sistema di visione

Nella campagna del 2008 la trappola modificata è stata fissata sulla superficie della scatola in cui era collocata la batteria, in modo che la videocamera si trovasse perfettamente perpendicolare ad essa.

Nel 2009 invece la stessa trappola modificata è stata fissata su un supporto costruito appositamente, costituito da due barre di acciaio fissate al palo di sostegno del sistema elettronico. La distanza tra le due barre era di 150 mm e la trappola modificata veniva adagiata tra le queste due e fissata con nastro adesivo facendo attenzione che la videocamera si trovasse perfettamente in asse con ad essa.



Figura 18 e Figura 19 La Videocamera Sony SNC-Z20P



Figura 20 e Figura 21 La telecamera Sony nella sua custodia SNCA-HFIXED



Figura 22 e 23 Il dispositivo d'illuminazione Raytec RM 25

2.2.2.1. *Dimensionamento dell'impianto di alimentazione*

Per dimensionare il sistema di alimentazione sono stati eseguiti i medesimi calcoli già utilizzati per il dimensionamento del sistema di monitoraggio del 2007.

In questo caso la componentistica che necessita di alimentazione è : la videocamera, il modem, il regolatore di carica solare e il sistema di illuminazione ad infrarosso, l'inverter la custodia SNCA-HFIXED e la multipresa. Tutti i componenti lavorano a 12 Volt in corrente continua.

La videocamera presenta consumi massimi di 9 W, ma dato che il suo utilizzo è legato soltanto al momento in cui avviene lo scatto della fotografia (con una durata dell'attività di qualche secondo) e nel resto del tempo rimane in stand-by ha un consumo che è meno di un decimo della potenza massima.

Il modem ha consumi dell'ordine di 5W, il regolatore di carica ha un consumo interno di soli 0,036W, la custodia SNCA-HFIXED di 1 W e l'inverter pari a 1,2 W.

La multipresa presenta un consumo trascurabile per cui non entrerà nei calcoli del dimensionamento del sistema di alimentazione.

Il sistema di illuminazione presenta un consumo pari a 10W, ma questi essendo attivo solo dal crepuscolo all'alba ha una durata di funzionamento di circa 10 ore, ne consegue che il suo consumo giornaliero è il seguente:

$$\frac{10 \times 10}{24} = 4,17 \text{ W}$$

La potenza totale oraria richiesta dal sistema di monitoraggio sarà di conseguenza data da :

$$\text{Potenza totale} = P_{\text{videocamera}} + P_{\text{modem}} + P_{\text{illuminatore}} + \\ + P_{\text{Regolatore di carica}} + P_{\text{Custodia}}$$

$$0,9 + 5 + 4,17 + 0,036 + 1 = 11,11 \text{ W}$$

che riportati alla 24 ore ci porta un valore di:

$$24 \times 11,11 = 266,64 \text{ Wh}$$

Questo valore di potenza totale giornaliera ci serve per dimensionare la potenza del pannello fotovoltaico, il quale deve essere in grado di fornire l'energia richiesta dal sistema di monitoraggio. Se consideriamo che il funzionamento del pannello è concentrato in 8 ore, la potenza che deve erogare è pari alla potenza richiesta giornalmente diviso le sue ore di massimo funzionamento e, di conseguenza pari a :

$$\frac{266,64}{8} = 33,33 \text{ W}$$

Il pannello solare con potenza più prossima a questo valore è da 50 W.

Per il dimensionamento della capacità della batteria si è utilizzata la seguente rapporto:

$$\text{Capacità richiesta(Ah)} = \frac{\text{Ore di utilizzo} \times \text{Potenza}}{\text{Voltaggio}}$$

Considerando che la il nostro fabbisogno orario è di 11,11 W, la tensione nominale è di 12 V.

Considerato che il pannello lavora in fascia ottimale 8 ore restano da :

$$24 - 8 = 16 \text{ ore}$$

Per cui la potenza richiesta sarà:

$$\frac{16 \times 11,11}{12} = 14,81 \text{ Ah}$$

Sarebbe sufficiente una batteria da 13,48 Ah, ma dobbiamo aumentare questo valore di un 50% di sicurezza, di conseguenza il valore di potenza diventa:

$$13,48 \times 1,5 = 22,15 \text{ Ah}$$

La batteria solare scelta è di 70 Ah in quanto si vuole garantire una sufficiente copertura energetica nel caso si volesse utilizzare intensamente il sistema di monitoraggio.

2.2.2.2. Costi del sistema

I costi sostenuti per costruzione del sistema sono stati 2741Euro, di cui la maggior parte sono stati spesi per l'acquisto della telecamera, del sistema di alimentazione e per l'illuminatore infrarossi. (Tabella 2)Tabella 1

Tabella 2 Costi di costruzione sistema di monitoraggio

Telecamera Sony SNC-Z20P con custodia da esterno e alimentatore	€ 1380
Illuminatore a infrarossi Raytec RM25-50 con sensore crepuscolare	€ 364
Scheda di memoria per registrazione interna	€ 20
Router Switch,	€ 100
Cavi elettrici e cablaggi vari	€ 50
Palo di supporto	€80
2 Scatola IP66	€80
Pannello solare	€ 800
Batteria	€110
Regolatore di carica	€78
Multi presa	€ 8
Inverter 24-220V	€ 35
Totale	€ 2741

2.2.2.3. *Sperimentazione in campo nel 2008*

Anche per la campagna 2008 per la collocazione del sistema è stata mantenuta l'Azienda agricola "La Colombarola". La trappola è stata collocata, come nella precedente annata, nel versante Est dell'azienda, zona adibita a noceti da legname. La trappola è stata posizionata tra il quinto e sesto albero nel sesto filare di noci, inoltre sono state posizionate altre due trappole tradizionali carpotrap come controllo, la prima è stata collocata tra il decimo e l'undicesimo albero della seconda fila, la seconda tra sesto e settimo albero del decimo filare. (Figura 24 e Figura 25)

IL sistema elettronico di monitoraggio è stata posizionato in campo dal 10 maggio 2008 al 23 settembre 2008.



Figura 24 e Figura 25 Il secondo prototipo presso l'azienda agricola "La colombarola"

Il temporizzatore degli scatti è stato programmato per effettuare una fotografia ogni mezz'ora e l'operatore provvedeva allo scaricamento delle immagini ogni settimana.

Alla trappola era stato associato un indirizzo di rete IP statico e lo scaricamento dei dati avveniva tramite connessione wireless connettendo un computer al modem Wireless del sistema di monitoraggio. Il trasferimento delle immagini dalla memoria della videocamera al Computer portatile avveniva utilizzando il programma WS Ftp Professional.

In corrispondenza del trasferimento delle immagini avveniva il controllo delle trappole, del funzionamento del sistema di controllo e veniva presa nota del numero di catture per gruppo tassonomico.

Sono stati presi in considerazione 8 gruppi tassonomici: *Cydia pomonella*, Imenotteri, Aracnidi, Coleotteri, Ditteri, Lepidotteri, Ortotteri e Vari. Nei vari gruppi venivano segnati le specie di maggiore dimensione e quelle facilmente distinguibili per gruppo tassonomico, nel gruppo dei Vari rientravano tutte le specie di piccola dimensioni non categorizzabili ad un specifico gruppo ad una veloce analisi in campo.

2.2.2.4. Sperimentazione in campo nel 2009

Nella campagna 2009 lo stesso sistema di monitoraggio è stato collocato presso l'azienda agricola "Merighi" situata ad Altedo (Bo). La Merighi è un'azienda orti-frutticola che produce diverse varietà di mele, sia precoci come le Gala, sia tardive come le Fuji. L'azienda, pur seguendo i disciplinari di lotta integrata, negli ultimi anni ha avuto un incremento di attacchi da parte della *Cydia pomonella*, soprattutto da parte degli adulti di terza generazione, quando in prossimità delle prime raccolte di Gala vengono sospesi i trattamenti contro la carpocapsa. A seguito di questa recrudescenza di attacchi negli ultimi anni nell'azienda oltre ai trattamenti, sono impiegati diffusori a feromone per la confusione sessuale.

La trappola elettronica è stata sistemata al centro del meleto, affiancata da due trappole tradizionali nella seconda fila e nella terz'ultima.

La trappola è stata posizionata in campo dal 3 maggio 2008 al 15 ottobre 2009.



Figura 26 Il prototipo collocato presso l'azienda agricola "Merighi".

Il temporizzatore degli scatti è stato programmato per effettuare una fotografia ogni quarto d'ora.

Alla trappola era stato associato un indirizzo di rete IP statico e lo scaricamento dei dati avveniva settimanalmente tramite connessione wireless connettendo un computer al modem Wireless del sistema di monitoraggio. Il trasferimento delle immagini dalla memoria della videocamera al Computer portatile avveniva utilizzando il programma WS Ftp Professional.

Nell'ultima settimana di prova è stata inoltre provata la comunicazione tramite Videofonino.

Al posto della scheda di memoria flash nello slot per scheda PC-Card della videocamera è stata inserita un adattatore ATA con una scheda di telefonia cellulare Tim. L'operatore aveva accesso diretto alla videocamera telefonando con un normale telefono dotato di connessione UMTS o 3G.

Nella prova è stato utilizzato un telefono cellulare BlackBerry 9000.

Alla videocamera era comunque ancora associato il numero di rete IP.

In corrispondenza dello scaricamento delle immagini avveniva il controllo delle trappole, dello stato di funzionamento del sistema e veniva presa nota delle catture. Come le annate precedenti per singola trappola venivano segnate il numero delle catture degli 8 gruppi tassonomici visti in precedenza: *Cydia pomonella*, Imenotteri, Aracnidi, Coleotteri, Ditteri, Lepidotteri, Ortotteri e Vari.

3. RISULTATI DELLA SPERIMENTAZIONE

Data la mancanza di una seconda trappola per il monitoraggio automatico non è stato possibile fare delle repliche durante le varie campagne estive e conseguentemente non è stato possibile sottoporre i dati di cattura all'analisi statistica. Quello che è stato valutato del sistema automatico di monitoraggio è il comportamento in campo del sistema, la qualità delle immagini ottenute, la velocità nel trasferimento dei dati e il comportamento di cattura confrontato con le trappole tradizionali.

3.1. Il primo prototipo del sistema di monitoraggio

Durante la stagione non si sono verificate catture di *Cydia pomonella* né da parte dal sistema elettronico di monitoraggio né da parte delle trappole bianche. All'interno della trappola modificata vi erano però un elevato numero di insetti non desiderati.

3.1.1. Dati catture

Come si può vedere dalla Tabella 3 e dal Grafico 1 la trappola elettronica è quella che ha catturato il maggior numero di insetti con 84 catture durante le 13 settimane di attività, decisamente inferiori invece risultano le catture delle trappole tradizionali, con 27 per la numero 1 e 28 per la numero 2.

Analizzando in dettaglio per gruppo tassonomico, il gruppo più numeroso in termini di catture è stato il gruppo misto dei Vari, con 39 catture per la trappola elettronica, 12 per la trappola bianca 1 e 10 per la trappola bianca 2. Il secondo gruppo per numerosità di catture sono stati i lepidotteri con 20 catture per la trappola elettronica, 6 per la trappola 1 e 7 per la trappola 2. Seguono ai lepidotteri come numero di catture i ditteri con 6 catture per la trappola 1, 5 per la trappola bianca 2 e 11 per la trappola elettronica. La sola ad avere catture di aracnidi è stata la trappola elettronica con 5 catture.

CAPITOLO 3: RISULTATI DELLA SPERIMENTAZIONE

Tabella 3 Dati di cattura delle trappole

TRAPPOLA ELETTRONICA														
GRUPPO	DATA													TOTALE GRUPPO
	10/7	17/7	24/7	31/7	7/8	14/8	21/8	28/8	4/9	11/9	18/9	25/9	2/10	
Cydia pomonella	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aracnidi	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	1	0	0	5
Coleotteri	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2
Ditteri	1	1	0	2	1	1	0	1	0	1	1	1	1	11
Imenotteri	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Lepidotteri	1	1	2	2	1	2	1	2	2	1	2	2	1	20
Ortotteri	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	0	5
Vari	2	4	3	3	4	3	3	3	4	3	3	2	2	39
TOTALE SETTIMANA	4	7	5	8	7	6	5	6	8	10	8	6	4	84
TRAPPOLA 1														
GRUPPO	DATA													TOTALE GRUPPO
	10/7	17/7	24/7	31/7	7/8	14/8	21/8	28/8	4/9	11/9	18/9	25/9	2/10	
Cydia pomonella	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aracnidi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Coleotteri	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Ditteri	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	6
Imenotteri	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Lepidotteri	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	6
Ortotteri	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Vari	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	12
TOTALE SETTIMANA	2	3	2	2	2	1	2	3	3	2	1	2	2	27
TRAPPOLA 2														
GRUPPO	DATA													TOTALE GRUPPO
	10/7	17/7	24/7	31/7	7/8	14/8	21/8	28/8	4/9	11/9	18/9	25/9	2/10	
Cydia pomonella	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aracnidi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Coleotteri	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3
Ditteri	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	5
Imenotteri	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Lepidotteri	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	7
Ortotteri	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2
Vari	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	10
TOTALE SETTIMANA	2	2	2	2	1	2	2	3	3	3	2	2	2	28

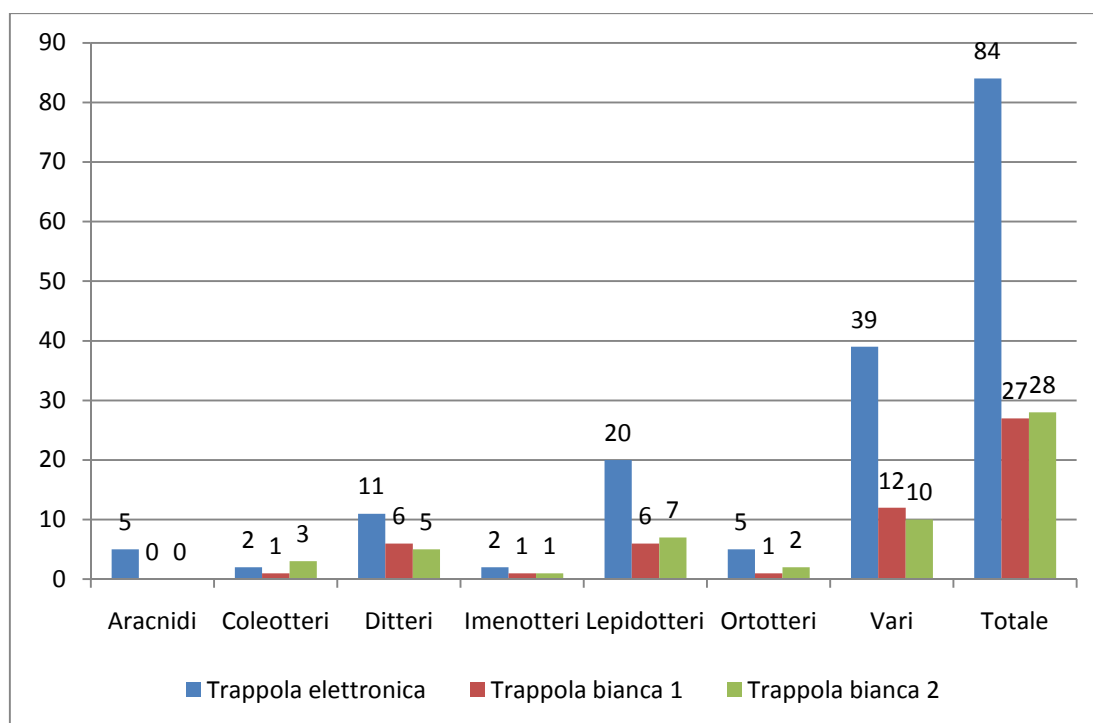


Grafico 1 Dati di cattura totali delle tre trappole per gruppo tassonomico

La media delle catture settimanali è stata di 6,5 per la trappola elettronica, mentre risulta inferiore per le trappole di controllo con 2,1 catture medie settimanali per la trappola numero 1 e 2,2 per la trappola numero 2.

Analizzando le catture settimanali delle tre trappole si può notare, come già visto in precedenza, che la trappola automatica ha un numero di catture settimanali superiori alle due trappole di controllo durante tutta la prova.

La trappola elettronica ha un incremento di catture fino al settimana del 31 luglio, da questa data ha un decremento progressivo fino al 21 agosto, da cui poi riprende gradualmente ad aumentare fino all' 11 settembre. Dal 11 settembre riprende gradualmente a calare il numero di catture settimanali fino alla chiusura della prova 2 ottobre. La settimana dal 4 al 11 settembre è stata la settimana in cui vi sono state per la trappola elettronica il maggior numero di catture.

Le due trappole bianche hanno avuto invece un andamento più costante con leggere fluttuazioni di cattura durante la stagione e con un andamento molto simile.

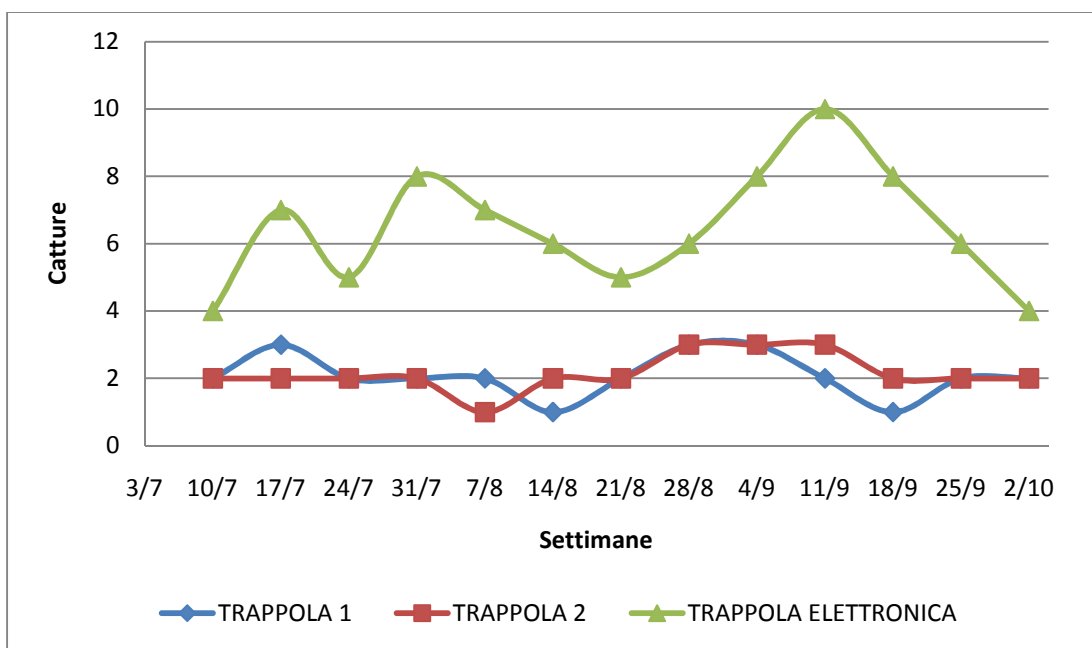


Grafico 2 Andamento di cattura delle tre trappole nelle settimane della prova

I dati di catture accumulati durante le 9 settimane della prova in campo dimostrano come la trappola modificata aveva un'andata decisamente diversa dalle due trappole tradizionali, le quali nel confronto fra di loro, presentavano un andamento simultaneo e quasi sovrapponibile.

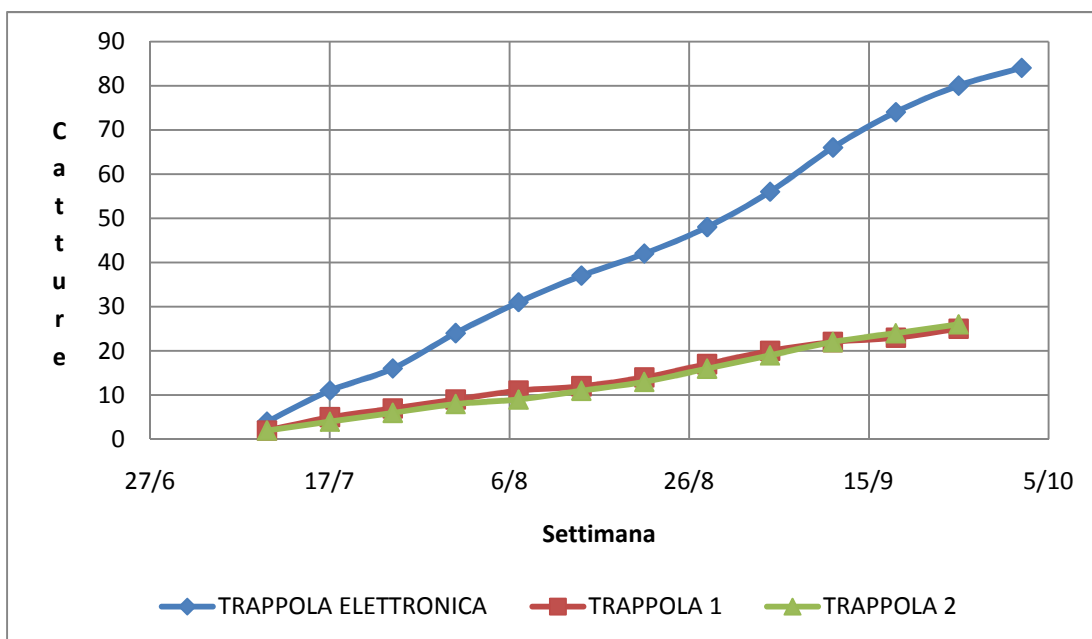


Grafico 3 Andamento delle catture accumulate durante le 9 settimane di prova delle 3 trappole

3.1.2. Immagini degli insetti catturati dal sistema di monitoraggio



Figura 27 Lepidottero



Figura 28 Lepidottero



Figura 29 Lepidottero



Figura 30 Non classificato (Vari)



Figura 31 Imenottero



Figura 32 Dittero



Figura 34 Dittero



Figura 33 Ortottero



Figura 35 Rincote (Vari)



Figura 36 Rincote (vari)



Figura 37 1° giorno di messa in campo del sistema di monitoraggio



Figura 38 Foto delle ore 17 del 6 agosto



Figura 39 Foto Notturna del 6 agosto



Figura 40 Foto delle ore 8 del 18 settembre

3.1.3. Comportamento in campo del sistema.

Il sistema nel complesso ha dimostrato di funzionare in campo, non si vi sono stati problemi con il sistema di alimentazione, il quale ha sempre funzionato bene e non vi sono state interruzioni improvvise del sistema di monitoraggio durante le 9 settimane di attività. L'accesso al sistema attraverso la rete wireless è stata veloce e anche il trasferimento dei dati è stato rapido.

La custodia ha svolto bene la sua attività, proteggendo la videocamera da acquazzoni anche di notevole intensità e consentendo un rapido e semplice accesso alla trappola modificata quando si doveva provvedere alla pulizia del fondo collato e alla sostituzione dell'innesco a feromoni.

Tuttavia non avendo avuto catture di carpocapsa non è stato possibile valutarne l'efficacia in questi termini.

3.2. Il secondo prototipo del sistema di monitoraggio

3.2.1. Sperimentazione in campo 2008

3.2.1.1. *Dati catture*

Già come successo nella campagna estiva dell'anno 2007 durante la campagna del 2008 non si sono verificate catture di *Cydia pomonella* né da parte dal sistema elettronico di monitoraggio né da parte delle trappole tradizionali di controllo.

Le settimane in cui il sistema elettronico di monitoraggio ha funzionato, sono state diciannove, sei in più rispetto all'anno precedente.

Come si può vedere dalla tabella il numero di catture della trappola elettronica rispetto alla stagione 2007 si è ridotto e si è portato ai livelli delle due trappole di controllo.

La trappola elettronica nel 2008 ha avuto un numero totale di catture di 40 esemplari durante diciannove settimane di funzionamento, mentre le due trappole di controllo hanno avuto rispettivamente 39 catture per la numero 1 e 41 per la trappola numero 2 (Grafico 4).

Se si analizza in dettaglio il numero di catture per gruppo tassonomico, il più numeroso in termini di catture è stato il gruppo misto dei Vari, con 40 catture per la trappola elettronica, 39 per la trappola bianca 1 e 41 per la trappola bianca 2. Il secondo gruppo per numerosità di catture sono stati i Ditteri con 11 catture per la trappola elettronica, 10 per la trappola 1 e 9 per la trappola 2. Seguono ai Ditteri come numero di catture i Lepidotteri con 7 catture sia per la trappola elettronica sia per la trappola di controllo numero 1, mentre è stata di 8 per la trappola 2. Inferiori come numero di catture risultano i gruppi dei Coleotteri, degli imenotteri e degli Ortotteri. Durante la campagna 2008 non vi sono stati catture di Aracnidi né parte della trappola elettronica né da parte delle trappole di controllo.

CAPITOLO 3: RISULTATI DELLA SPERIMENTAZIONE

Tabella 4 Dati di cattura delle trappole nella campagna 2008

TRAPPOLA ELETTRONICA																				
GRUPPO	DATA																			TOTALE GRUPPO
	20/5	27/5	3/6	10/6	17/6	24/6	1/7	8/7	15/7	22/7	29/7	5/8	12/8	19/8	26/8	2/9	9/9	16/9	23/9	
Cydia pomonella	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aracnidi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Coleotteri	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Ditteri	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	2	0	1	0	1	0	11
Imenotteri	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3
Lepidotteri	0	0	1	0	0	0	0	2	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	7
Ortotteri	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Vari	2	0	1	2	1	1	0	1	2	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	15
TOTALE SETTIMANA	2	3	2	2	3	2	1	4	3	3	3	1	2	3	1	3	0	2	0	40
TRAPPOLA 1																				
GRUPPO	DATA																			TOTALE GRUPPO
	20/5	27/5	3/6	10/6	17/6	24/6	1/7	8/7	15/7	22/7	29/7	5/8	12/8	19/8	26/8	2/9	9/9	16/9	23/9	
Cydia pomonella	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aracnidi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Coleotteri	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Ditteri	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	2	0	1	0	0	0	10
Imenotteri	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3
Lepidotteri	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	7
Ortotteri	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Vari	1	0	1	2	1	2	1	1	2	0	2	0	1	0	1	0	1	0	0	16
TOTALE SETTIMANA	1	2	2	2	3	4	1	4	3	4	2	1	1	3	1	2	1	2	0	39
TRAPPOLA 2																				
GRUPPO	DATA																			TOTALE GRUPPO
	20/5	27/5	3/6	10/6	17/6	24/6	1/7	8/7	15/7	22/7	29/7	5/8	12/8	19/8	26/8	2/9	9/9	16/9	23/9	
Cydia pomonella	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aracnidi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Coleotteri	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Ditteri	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	2	1	1	0	1	9
Imenotteri	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Lepidotteri	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	8
Ortotteri	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2
Vari	1	0	1	1	0	1	1	1	2	1	1	0	2	2	0	0	1	1	0	16
TOTALE SETTIMANA	2	1	1	3	0	3	2	2	4	4	3	1	2	3	2	3	2	2	1	41

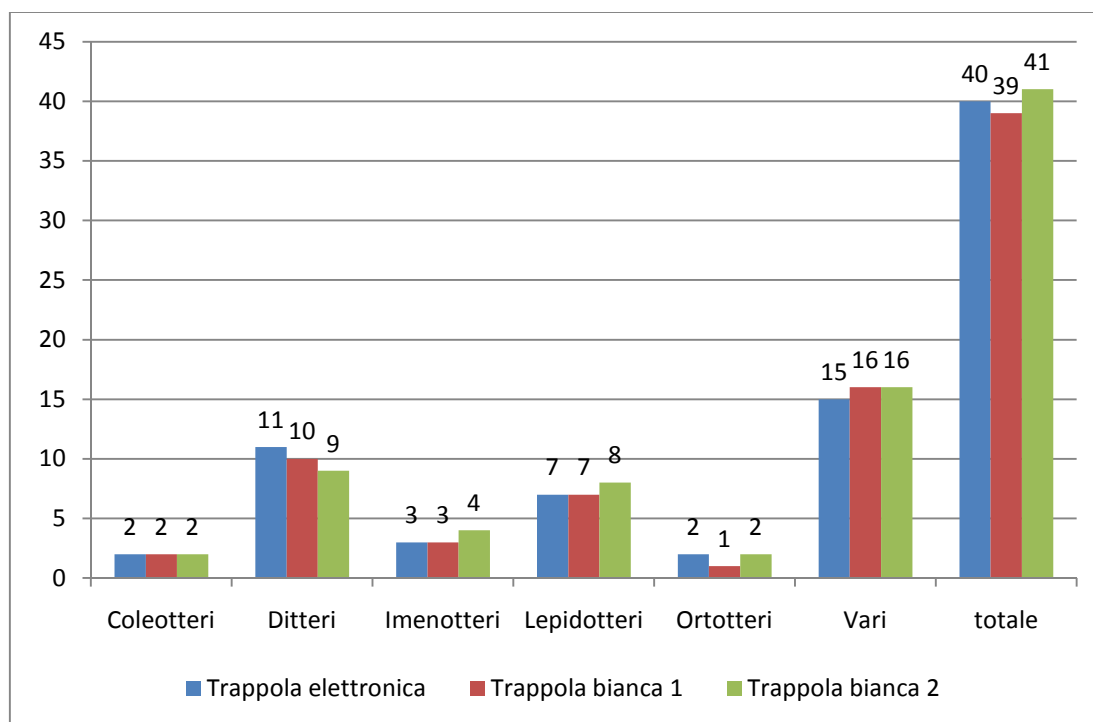


Grafico 4 Dati di cattura totali delle tre trappole per gruppo tassonomico.

Analizzando le medie delle catture settimanali si può notare che la media è stata di 2,1 sia per la trappola elettronica sia per la trappola bianca numero 1 mentre risulta di 2,2 per la trappola bianca numero 2.

Se si analizzano gli andamenti delle catture accumulate durante le diciannove settimane messa in campo della prova si può notare come le tre trappole abbiano un andamento di tipo rettilineo molto simile e quasi sovrapponibile. (Grafico 5).

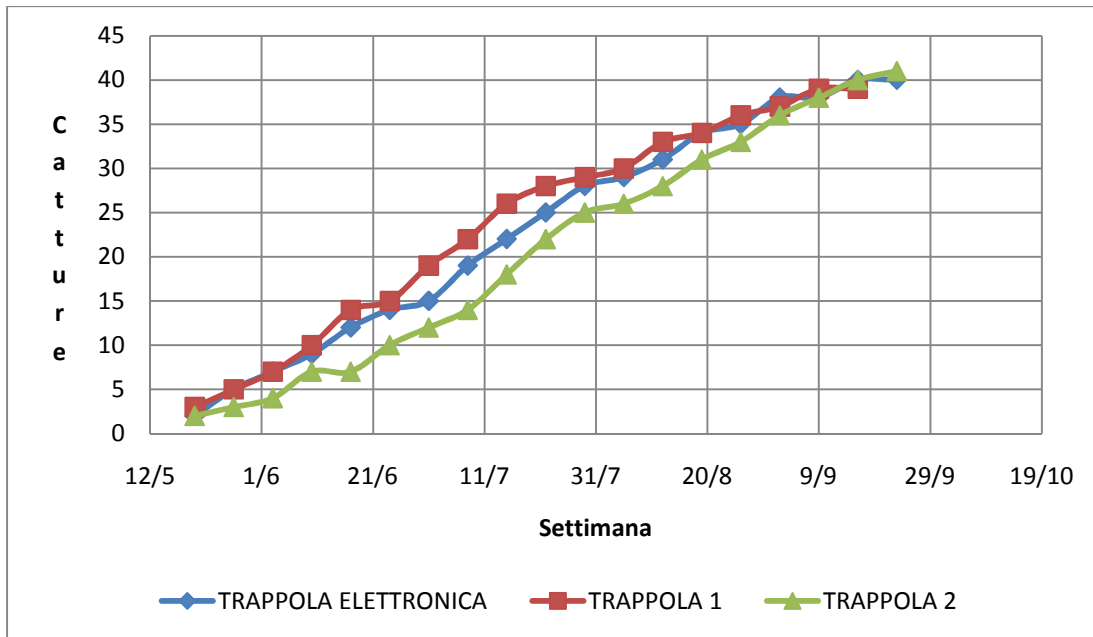


Grafico 5 Andamento delle catture accumulate durante le 19 settimane di prova delle 3 trappole

3.2.1.2. *Immagini degli insetti catturati dal sistema di monitoraggio*



Figura 41 Fotografia delle ore 8



Figura 42 Fotografia delle ore 20



Figura 43 Fotografia delle ore 23



Figura 44 Lepidottero



Figura 45 Lepidottero



Figura 46 Rincote (Vari)



Figura 47 Dittero



Figura 48 Imenottero



Figura 49 Coleottero



Figura 50 Imenottero



Figura 51 Ditteri

3.2.1.3. *Comportamento in campo del sistema*

Il secondo prototipo durante la sua prima prova in campo ha dimostrato di funzionare poiché non vi sono stati malfunzionamenti o rotture.

La trappola fissata sulla superficie superiore della scatola in cui era posizionata la batteria non si è spostata durante tutte le settimane in cui il sistema è stato in campo.

Il sistema di alimentazione ha sempre funzionato bene e non vi sono stati spegnimenti improvvisi. L'accesso al sistema attraverso la rete wireless è stata veloce e anche il trasferimento dei dati è stato rapido.

La custodia ha protetto bene la videocamera anche da forti acquazzoni.

3.2.2. *Sperimentazione in campo 2009*

3.2.2.1. *Dati Catture*

Nella campagna estiva del 2009 il sistema elettronico di monitoraggio è rimasto in campo ventiquattro settimane, cinque in più rispetto all'anno precedente.

Nella campagna 2009 vi sono state in tutto 8 catture di carpocapsa avvenute tra il 30 maggio e il 29 agosto. (Tabella 5)

La prima corrisponde al periodo degli sfarfallamenti della prima generazione, cattura avvenuta nella settimana tra il 30 maggio e il 6 giugno, è stata riscontrata nel sistema elettronico di monitoraggio mentre non ci sono state catture nelle trappole di controllo.

Dalla cattura di maggio non ve ne sono state altre fino alla metà di agosto, tra il 9 e il 29 agosto ve ne sono state un totale di 7. Nella settimana tra il 9 e il 15 agosto vi sono state in tutto 3 catture, una per la trappola modificata e una per entrambe le trappole di controllo. Nella settimana tra il 16 e il 22 agosto è avvenuta una sola cattura da parte della trappola di controllo numero 3. Nella

settimana tra il 22 e il 29 agosto vi sono state altre 3 catture, una per la trappola modificata e una per entrambe le trappole di controllo.

In generale il sistema elettronico di monitoraggio ha catturato tre maschi di carpocapsa, lo stesso numero di catture della trappola di controllo numero 3, mentre la trappola numero 2 ne ha avute due.

Il sistema di monitoraggio elettronico è stato l'unico ad avere una cattura in corrispondenza del volo della prima generazione. Analizzando le settimane delle catture, in quella tra il 30 maggio e il 6 giugno ve ne è stata solo una, in quella tra il 9 e il 15 agosto tre, tra il 16 e il 22 agosto solamente una e in quella tra il 23 e il 29 agosto ve ne sono state altre tre.

Durante le ventiquattro settimane di funzionamento della campagna del 2009 la trappola elettronica ha avuto un numero totale di catture di 51 insetti, stesso numero di catture della trappola di controllo 1 mentre ve ne state 52 per la trappola numero 2.

Se si analizza in dettaglio il numero di catture per gruppo tassonomico, il più numeroso in termini di catture è stato il gruppo misto dei Vari, con 22 catture per la trappola elettronica, 23 per la trappola tradizionale 1 e 21 per la trappola 2. Il secondo gruppo per numerosità di catture sono stati i Ditteri con 11 catture per la trappola elettronica, stesso numero di catture della trappola di controllo 1 mentre ve ne state 10 per la trappola numero 2.

Seguono ai Ditteri gli Imenotteri con 7 catture sia per la trappola elettronica sia per la trappola di controllo numero 2, mentre è stata di 5 per la trappola bianca numero 1.

I lepidotteri seguono gli Imenotteri come numero di insetti catturati, con 5 per la trappola elettronica e 6 per le due trappole di controllo. Inferiori come numero di catture risultano i gruppi dei Coleotteri e degli Ortotteri. Durante campagna 2009 non vi sono stati catture di Aracnidi né parte della trappola elettronica né da parte delle trappole di controllo (Tabella 5 e Grafico 7).

CAPITOLO 3: RISULTATI DELLA SPERIMENTAZIONE

Tabella 5 Dati di cattura delle trappole nella campagna 2009

TRAPPOLA ELETTRONICA																										
GRUPPO	DATA																									TOTALE
	2/5	9/5	16/5	23/5	30/5	6/6	13/6	20/6	27/6	4/7	11/7	18/7	25/7	1/8	8/8	15/8	22/8	29/8	5/9	12/9	19/9	26/9	3/10	10/10		
Aracnidi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Coleotteri	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Cydia pomonella	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
Ditteri	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	
Imenotteri	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	
Lepidotteri	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	
Ortotteri	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
Vari	0	0	0	3	1	0	1	2	1	2	1	1	2	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
TOTALE SETTIMANA	1	1	1	3	4	3	1	2	1	4	3	1	3	1	1	3	2	3	2	2	3	3	1	2	51	
TRAPPOLA 1																										
GRUPPO	DATA																									TOTALE
	2/5	9/5	16/5	23/5	30/5	6/6	13/6	20/6	27/6	4/7	11/7	18/7	25/7	1/8	8/8	15/8	22/8	29/8	5/9	12/9	19/9	26/9	3/10	10/10		
Aracnidi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Coleotteri	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Cydia pomonella	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
Ditteri	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	
Imenotteri	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	
Lepidotteri	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	
Ortotteri	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Vari	0	0	1	2	1	1	1	1	2	1	2	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	2	1	2	23	
TOTALE SETTIMANA	0	1	2	2	3	3	1	3	3	4	2	1	3	2	1	2	2	3	3	1	2	3	2	2	51	
TRAPPOLA 2																										
GRUPPO	DATA																									TOTALE
	2/5	9/5	16/5	23/5	30/5	6/6	13/6	20/6	27/6	4/7	11/7	18/7	25/7	1/8	8/8	15/8	22/8	29/8	5/9	12/9	19/9	26/9	3/10	10/10		
Aracnidi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Coleotteri	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Cydia pomonella	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
Ditteri	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	
Imenotteri	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
Lepidotteri	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	
Ortotteri	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
Vari	1	0	1	1	1	2	1	1	2	1	1	0	0	2	0	0	1	1	1	0	1	0	2	1	21	
TOTALE SETTIMANA	1	1	1	3	3	4	1	2	4	3	2	1	2	3	2	3	2	3	2	1	1	2	3	2	52	

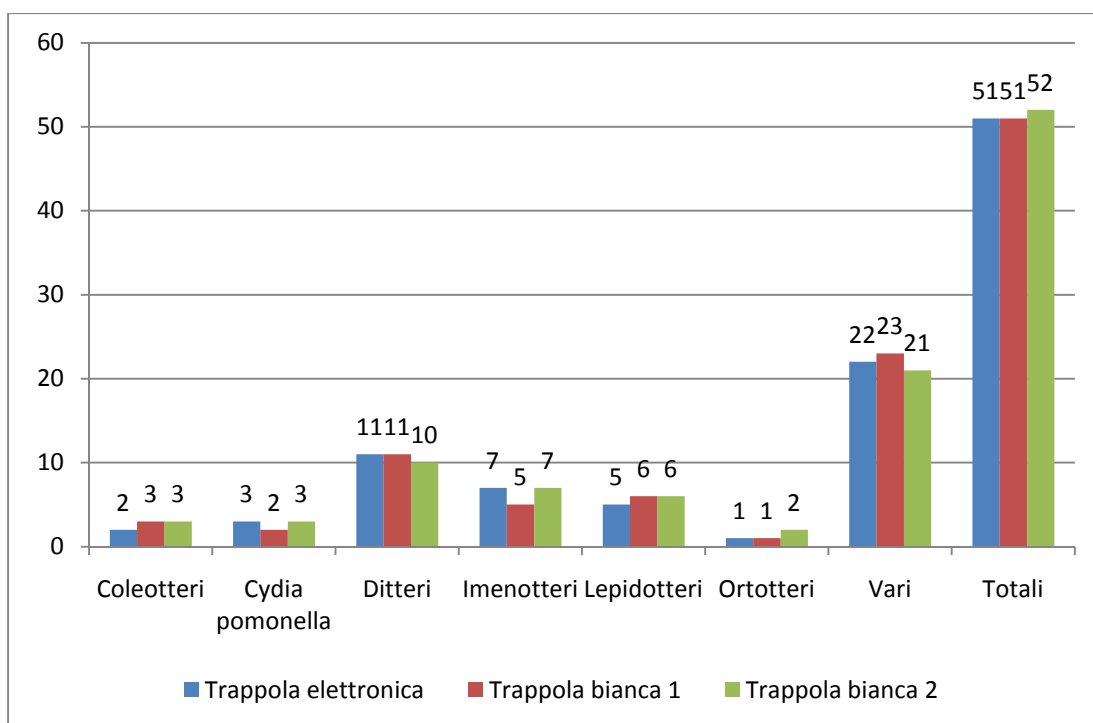


Grafico 6 Dati di cattura totali delle tre trappole per gruppo tassonomico.

Se si analizzano le medie delle catture settimanali delle trappole si può notare che sono state di 2,1 sia per la trappola elettronica sia per la trappola bianca numero 1 mentre risulta di 2,2 per la trappola bianca numero 2.

Come si può valutare dal Grafico 7 com'era successo durante la campagna del 2008, anche durante la campagna del 2009, gli andamenti delle catture accumulate durante le 24 settimane in cui la prova è stata svolta sono pressoché identici e con un andamento rettilineo quasi del tutto sovrapponibile.

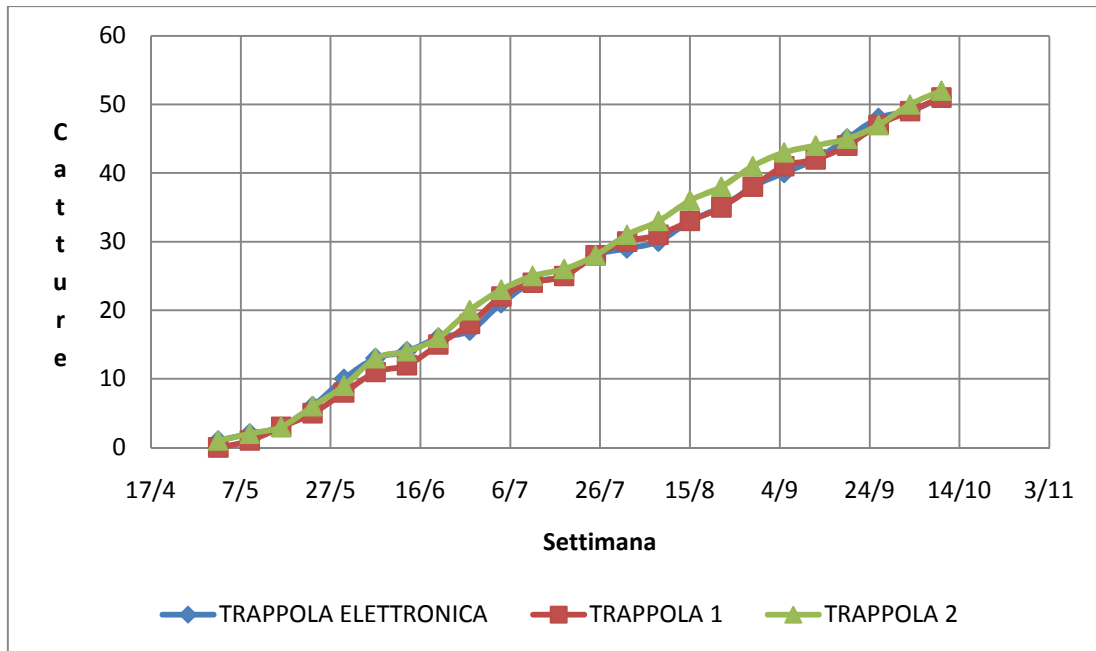


Grafico 7 Andamento delle catture accumulate durante le 24 settimane di prova delle 3 trappole

3.2.2.2. *Immagini della carpocapsa catturata dal sistema di monitoraggio*



Figura 52 Catture del 6 maggio



Figura 53 Cattura del 29 agosto



Figura 54 Fotografia della trappola del 6 maggio in cui è visibile la cattura di *Cydia pomonella*.

3.2.2.3. *Comportamento in campo del sistema*

Rispetto alla collocazione nella azienda agricola “la Colombarola” in cui veniva seguito il disciplinare di lotta biologica e nel cui noceto non veniva fatta alcuna attività gestionale, l’aver posizionato il sistema elettronico di monitoraggio in un ambiente agrario come l’azienda Merighi, nella quale veniva seguita la normale attività agronomica (trattamenti fitosanitari, potature, raccolta etc.) ha permesso di valutare meglio il funzionamento e l’attitudine all’utilizzo in campo.

Anche nel secondo anno di prova il sistema elettronico di monitoraggio ha dimostrato di funzionare, mantenendo i risultati conseguiti nell’anno precedente.

Il sistema di alimentazione ha funzionato bene durante tutta la stagione. Si è verificato però uno spegnimento del sistema di monitoraggio che ha comportato l’intervento del tecnico per la rimessa in attività del sistema di monitoraggio. La causa dello spegnimento non è stata causata da un mal funzionamento del sistema di alimentazione o un errato dimensionamento della potenza del sistema, ma dallo spostamento della direzione del pannello solare che dalla sua giusta orientazione verso Est era stata mosso verso Nord e in contemporanea a questo, vi erano stati due giorni di cielo coperto con pioggia battente. Questo insieme di cause ha comportato di conseguenza, che il pannello solare non ha potuto alimentare il sistema di monitoraggio, che nel giro di una giornata e mezza ha consumato tutta la batteria.

La causa di tale spostamento è da imputare probabilmente al passaggio del trattore che durante un operazione colturale, ha inavvertitamente urtato il palo o il pannello solare, senza però causare danni al sistema.

3.2.2.3.1. *Alcuni problemi di funzionamento riscontrati in campo nel 2009*

3.2.2.3.1.1. *Imbrattamento della zona di visione*

Uno dei problemi riscontrati all'inizio del periodo di controllo deriva dall'imbrattamento dell'ottica della videocamera e della calotta trasparente collocata sulla trappola modificata a causa dei trattamenti fitosanitari eseguiti nell'azienda (Figura 57).

In un meleto gestito seguendo il disciplinare di lotta integrata vengono eseguiti diversi trattamenti fitosanitari durante la stagione quali quelli contro ticchiolatura, afidi, carpocapsa etc, e ne consegue che vi è un frequente passaggio dei mezzi per la distribuzione dei prodotti chimici.

L'irroratrice ad aereo-convezione impiegata nell'azienda, passando tra i filari, oltre che le piante nebulizzava anche il sistema di monitoraggio rivestendolo con una pellicola di goccioline piene di prodotto fitosanitario. Questo asciugandosi riveste la superficie di visione con una sottile lamina di prodotto che rende meno nitida l'immagine. A seguito di diversi passaggi da parte della macchina irroratrice si è venuta a creare una sorta di crosta al di sopra delle superficie trasparenti che ha impedito la visione da parte del sensore della zona di cattura.

Di conseguenza si doveva provvedere settimanalmente alla pulizia sia della calotta trasparente della trappola sia del vetro della videocamera per non perdere eventuali catture.

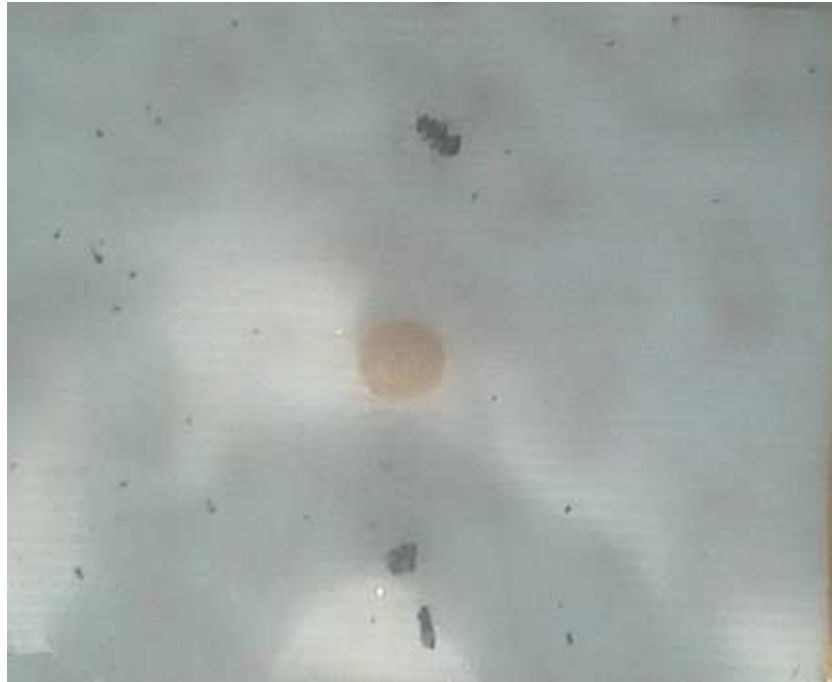


Figura 55 Foto della trappola modificata da parte del sistema elettronico di monitoraggio prima del trattamento fitosanitario.



Figura 56 Foto della trappola modificata da parte del sistema elettronico di monitoraggio dopo il trattamento fitosanitario.



Figura 57 Foto della trappola modificata da parte del sistema elettronico di monitoraggio dopo una settimana di trattamenti fitosanitari, con al conseguente formazione di crosta superficiale.

3.2.2.3.1.2. Mancata visione di una cattura di *Cydia pomonella*

Secondo problema riscontrato, è stato la mancata visione da parte del sistema elettronico di una cattura di *Cydia pomonella*. L'insetto seguendo la scia feromonica dell'innesco è andato a posarsi nella zona di cattura, ma probabilmente a livello del bordo della superficie collante ed è riuscito contorcendosi a uscire dalla zona di visione rimanendo però, incollato nella faccia posteriore del fondo collato. L'accertamento della avvenuta cattura è stato rivelato casualmente nel momento in cui si è andati a fare lo scaricamento delle immagini e il relativo controllo dello stato del sistema. Pulendo il fondo collato ci si è accorti della presenza dell'insetto incollato nella faccia posteriore. Analizzando tutte le immagini della settimana tra il 08/08/2009 e il 15/8/2009 non ve ne sono che attestino la cattura. Probabilmente la carpocapsa si è depositata sulla base collata durante il periodo di tempo immediatamente successivo ad uno scatto ed è riuscita a uscire dalla zona di visione prima dello scatto successivo.

Di conseguenza non è stata monitorata la cattura.

3.2.2.4. Trasmissione dati tramite rete cellulare

Nell'anno 2009 è stato possibile provare la connessione tramite videofonino.

La connessione è risultata buona, non vi sono stati problemi di comunicazione e l'operatore aveva accesso alla videocamera in qualunque momento del giorno e della notte.

La qualità delle immagini alla risoluzione più bassa era sufficiente ad una prima valutazione dello stato delle catture, l'utilizzatore era in grado di valutare se la l'insetto presente era un lepidottero ma non è risultata tale da consentire il riconoscimento della cattura.

Il passaggio al livello grafico migliore comportava un appesantimento dell'apertura della finestra di dialogo con la telecamera, con conseguente rallentamento della fluidità di accesso e dell'apertura dell'immagine in diretta dalla videocamera.

È risultato quasi impossibile il trasferimento delle immagini tramite programma Ftp, in quanto la connessione risultata limitata e il tempo necessario per scaricare tutte le immagini della giornata sarebbe stato abbastanza lungo.

4. DISCUSSIONE DEI RISULTATI

4.1. Il primo prototipo del sistema di monitoraggio

4.1.1. Risultati delle catture

Come visto nel Paragrafo 3.1.1 non vi sono state catture di *Cydia pomonella* durante la campagna del 2007 né da parte del sistema di monitoraggio elettronico né da parte delle trappole di controllo.

Vi sono state però svariate catture di insetti indesiderati da parte di tutte le trappole, ma in numero decisamente superiore nella trappola modificata del sistema di monitoraggio. Si hanno avute 84 catture durante le tredici settimane di attività, valore decisamente superiore al numero di catture delle due catture delle trappole di controllo, le quali hanno avuto 27 catture per la numero 1 e 28 per la numero 2.

Anche la media delle catture settimanali è stata di 6,5 insetti per la trappola elettronica, valore molto superiore a quello riscontrato nelle due trappole di controllo che è stato di 2,1 catture medie settimanali per la trappola numero 1 e 2,2 per la trappola numero 2.

Analizzando i dati di cattura si è constatato che la trappola modificata presentava un diverso comportamento di cattura rispetto alle trappole classiche. In particolare il sistema elettronico di monitoraggio aveva una maggiore cattura di insetti non desiderati rispetto alle trappole classiche. Non è stato possibile valutare il suo comportamento rispetto a *Cydia pomonella* in quanto non vi sono state catture, ma il dato di catture di insetti indesiderati è un risultato molto negativo in quanto maggiori sono le catture di insetti non desiderati, maggiore è la velocità con cui la trappola si sporca e maggiore è la possibilità che gli insetti si sovrappongano gli uni sugli altri non permettendo di conseguenza una chiara visione del fondo collato.

Un grosso problema deriva dall'elevata incidenza di lepidotteri catturati dalla trappola modificata, 20, rispetto a quelle registrate dalle trappole di controllo

in cui ve ne sono state 6 per la trappola 1 e 7 per la trappola 2. Maggiori sono le catture di insetti tassonomicamente vicini alla carpocapsa, maggiore è la probabilità di errori di valutazione da parte dell'operatore nel momento in cui accede alle immagini provenienti dal sistema di monitoraggio.

Questo diverso comportamento di catture del sistema elettronico di monitoraggio nasce probabilmente dalla presenza dell'illuminatore della videocamera che pur illuminando per la durata di qualche frazione di secondo durante lo scatto probabilmente la luce è risultata sufficiente ad attirare gli insetti che al momento si trovavano nelle vicinanze della trappola.

4.1.2. Qualità delle immagini

Come mostrato nel Paragrafo 3.2.1.2, la qualità delle immagini prodotte dalla Vivotek IP7138 era buona, ma in generale non sufficiente alle esigenze di questo tipo di applicazione. Infatti come si può notare il dettaglio grafico delle fotografie, pur essendo discreto, non permetteva il riconoscimento dell'insetto in maniera precisa. Nel caso di catture con lepidotteri era quasi impossibile l'identificazione della specie. Dalle immagini era possibile solo valutare se l'insetto catturato era un lepidottero o un insetto appartenente ad un altro gruppo tassonomico. Ne consegue che se l'operatore accedeva al sistema non era in grado di definire se quella catturato era un maschio di Carpocapsa o un altro lepidottero e quindi doveva accertarsi di persona andando a controllare la trappola per determinare quale specie era stata catturata.

Inoltre si può notare dalle immagini che il sole incidente sulla calotta trasparente, soprattutto nelle prime ore della mattina e nel tardo pomeriggio, andava a creare zone sovra illuminate che non permettevano la visione del fondo di cattura. Questa situazione probabilmente nasceva dall'incapacità della videocamera Vivotek di compensare i fenomeni di retroilluminazione quando la luce solare era parallela alle aperture della trappola.

4.2. Il secondo prototipo del sistema di monitoraggio

4.2.1. Risultati delle catture

Come era successo durante la campagna estiva del 2007 anche nel 2008 non vi sono state catture di *Cydia pomonella* sia da parte del secondo prototipo del sistema di monitoraggio sia da parte delle due trappole di controllo.

La prova ha comunque portato a risultati incoraggianti in quanto come si può vedere Paragrafo 3.2.1.1 le catture di insetti non desiderati si sono di molto ridotte rispetto al primo prototipo presentato. Catture che si sono portate ai livelli delle altre due trappole di controllo, infatti nel 2008 il sistema elettronico di monitoraggio ha avuto un numero totale di catture di 40, mentre le due trappole di controllo hanno avuto rispettivamente 39 catture per la numero 1 e 41 per la trappola numero 2. Analizzando i dati di cattura e gli andamenti delle catture accumulati, si potrebbe dire che la trappola automatica non comportava a una variazione nel numero di catture rispetto alle trappole standard. Quello che maggiormente incoraggia è la notevole riduzione del numero di catture di lepidotteri rispetto al prototipo proposto l'anno precedente, valore non significativamente diverso da quello trovato nelle due trappole di controllo.

Anche nel 2009 i dati di catture di insetti indesiderati hanno confermato che il secondo prototipo del sistema di monitoraggio probabilmente non ha un'attività di cattura diversa da quella delle trappole convenzionali.

Il cambiamento nel tipo di illuminazione ha di conseguenza eliminato il problema che si era verificato con il primo prototipo, in cui vi era un elevato numero di catture non desiderate, permettendo così di avere un sistema che rispondeva nello stesso modo delle trappole classiche e di conseguenza confrontabile con esse.

Il cambio di locazione del sistema elettronico di monitoraggio nel 2009 ha finalmente permesso di avere le prime catture di *Cydia pomonella* sia da parte

del sistema elettronico di monitoraggio sia da parte delle trappole di controllo. Come visto nel *paragrafo 3.2.2* durante la campagna 2009 vi sono state in tutto 8 catture di Carpocapsa, 3 da parte del sistema di monitoraggio, 2 dalla trappola bianca numero 1 e 3 della trappola numero 2. Non possiamo ancora affermare che non si abbiano differenze significative tra le catture della trappola elettronica e le due trappole bianche. La determinazione di questo comportamento è di notevole importanza e richiederà la messa in campo di una replica nella stagione 2010, in quanto se il sistema dovesse portare ad una variazione sensibile di catture dei maschi di *Cydia pomonella* rispetto alle trappole tradizionali questo andrebbe a influire negativamente sulle strategie di difesa. Tale aspetto richiede un'ulteriore valutazione in campo. La ragione è semplice, essendo un insetto dalla bassissima soglia di intervento, se il sistema dovesse catturare di meno rispetto ad una trappola normale l'operatore non effettuerebbe il trattamento tempestivamente, provocando sicuramente ingenti danni alla produzione. Nel caso che catturasse di più anche questo andrebbe ad incidere negativamente, non sulla produzione, ma sulla programmazione dei trattamenti.

4.2.2. Comportamento in campo

Il secondo prototipo proposto ha superato molti dei fattori negativi che sono sorti con il primo prototipo, primo tra tutti la qualità delle immagini.

La videocamera Sony ha mostrato una qualità d'immagine decisamente superiore a quella della Vivitek, permettendo una maggiore sicurezza durante la determinazione della specie dell'insetto catturato. Soprattutto in caso di catture di accidentali di lepidotteri ha permesso di determinare se l'insetto presente nella trappola fosse *Cydia pomonella* o un altro lepidottero. Il riconoscimento era decisamente migliore quando l'insetto si posava sull'addome, permettendo così la visione delle ali, mentre quando il lepidottero rimaneva incollato di dorso non si poteva aver sicurezza sulla

specie catturata e solo un'attenta analisi della trappola da parte dell'operatore permetteva il rinascimento sicuro della specie.

Il riconoscimento della specie non è semplice anche perché l'insetto al momento della cattura, nel tentativo di liberarsi dal fondo collato, si dimena sporcando la zona attorno a se con l'epitelio delle ali e rendendo di conseguenza meno immediata la determinazione della specie.

Grazie alla caratteristica Backlight Compensation della videocamera Sony è stato superato il problema della retroilluminazione e delle zone sovraesposte della trappola, riscontrate invece con la videocamera Vivotek quando il sole era incidente sulla calotta trasparente.

Al momento della scelta della videocamera quella della Sony era una di quelle maggiori performanti per qualità d'immagine. Attualmente però la tecnica ha permesso la realizzazioni di telecamere ancora più performanti e a minor costo.

Il fatto di non aver rilevato una delle catture per un insetto come la *Cydia pomonella*, che ha una soglia di intervento molto basso, cioè due adulti catturati nella stessa settimana o in due settimane successive, risulta un dato molto negativo, che richiede un intervento tecnico per evitare che una situazione del genere possa ricapitare.

Se l'operatore, non fosse andato a controllare la trappola non ci si sarebbe resi conto della avvenuta cattura e di conseguenza, nel caso ci fosse stata un'altra cattura. L'operatore non avrebbe fatto l'intervento fitosanitario pur essendo stata in realtà superata la soglia d'intervento.

Da questo punto di vista il futuro sviluppo del prototipo dovrà tenere conto di questo risultato, anche per evitare che gli insetti catturati possano riuscire a uscire dalla zona di visione e di conseguenza non essere rilevati dal sistema.

Il sistema di alimentazione del secondo prototipo ha svolto bene la sua funzione. Durante la campagna del 2008 non vi sono stati spegnimenti del

sistema né vi sono stati mal funzionamenti. Anche nel 2009 il sistema di alimentazione ha confermato i risultati del primo anno.

Lo spegnimento non può esser visto come un problema del sistema di alimentazione o una suo errato dimensionamento, in quanto si è verificato con un insieme di circostanze concomitanti del tutto imprevedibili, che hanno portato il pannello solare a non poter alimentare il sistema di monitoraggio. Probabilmente se lo spostamento del pannello verso nord fosse avvenuto durante una settimana di bel tempo, la luce solare incidente sarebbe stata sufficiente al mantenimento in operatività del sistema di monitoraggio, finché l'operatore, durante il suo normale controllo del sistema, non fosse andato a ripristinare il corretto orientamento del pannello solare.

Il posizionamento in campo del sistema di monitoraggio presso l'azienda agricola Merighi ha permesso di valutare meglio il funzionamento del sistema. Al momento della progettazione del secondo prototipo non si poteva prevedere quanto i trattamenti potessero andare a rendere la calotta trasparente della trappola modificata e il vetro della custodia della videocamera così sporche da compromettere la visione della zona di cattura.

Si dovrà di conseguenza realizzare una custodia in cui inserire la videocamera e la trappola modificata, come era stata realizzata nel primo prototipo, per evitare che durante i trattamenti fitosanitari le zone di visione vengano sporcate.

La trasmissione dati via wireless è risultata valida e ottimale quando il sistema di monitoraggio è facilmente accessibile ed a breve distanza a un centro aziendale. Il sistema di monitoraggio collegato via wireless ad un computer presente in azienda ha permesso la trasmissione delle immagini di cattura dalla videocamera al computer e ha consentito l'accesso alla visione dello stato della trappola in tempo reale.

Incoraggianti sono stati i primi tentativi di connessione tramite rete telefonica cellulare, il sistema è apparso facilmente accessibile in qualunque momento

tramite una normale chiamata al numero di telefono presente nella videocamera. La velocità di connessione era legata alla potenza del segnale telefonico presente al momento, ma comunque dalle prime prove risultava sufficiente per l'accesso alla visione del fondo di cattura. La qualità delle immagini era sufficiente ad una prima discriminazione di quanto catturato, è risultato possibile valutare se il catturato era un lepidottero o un insetto appartenete ad un altro ordine, ma non sufficiente alla determinazione della specie catturata.

La qualità dell'immagine è comunque pur sempre legata al modello di telefono utilizzato.

Questa è ovviamente la via di comunicazione che maggiormente si ritiene promettente per l'utilizzo in campo, data la sua facilità di accesso al sistema di monitoraggio in qualunque momento.

5. CONCLUSIONI

Nel presente studio si è illustrata la modalità di costruzione e la valutazione delle attitudini di un nuovo sistema in grado di monitorare la popolazione di *Cydia pomonella* permettendo un accesso remoto e rapido alle trappole.

Per realizzare questo progetto è stato scelto di operare su uno dei fitofagi più difficili da monitorare, poiché la carpocapsa presenta una delle più basse soglie di intervento e di conseguenza necessita di un'attenta difesa.

Il sistema elettronico di monitoraggio che è stato realizzato ha subito nelle varie campagne diverse modifiche ed adattamenti per rendersi maggiormente performante alle necessità di campo. Superare i limiti del primo prototipo il secondo che è stato realizzato, si è rivelato sufficientemente performante come qualità dell'immagine ma soprattutto ha presentato un comportamento di cattura molto simile rispetto alle trappole tradizionali.

Tuttavia, come dimostrato durante la campagna estiva del 2009, anche il secondo prototipo realizzato necessita di modifiche e miglioramenti, per ovviare in particolare alla mancata visione di una delle catture e per evitare l'imbrattamento della zona di visione durante i trattamenti fitosanitari.

La trasmissione dati wireless è risultata molto comoda per il controllo della trappola, il tecnico può accedere e scaricare le immagini delle catture dall'ufficio o da qualunque luogo in cui vi è la connessione. Sicuramente un'evoluzione futura del prototipo prevederà la trasmissione per connessione telefonica cellulare. Questo perché questa modalità permette all'operatore di gestire un'intera rete di monitoraggio ovunque esso si trovi, svincolandolo dal controllo in loco delle trappole.

Sicuramente periodicamente si dovrà provvedere al controllo dello stato del fondo collato e del feromone, ma questo comporta una spesa di tempo solo ogni trenta - quaranta giorni, ben diverso che un controllo settimanale.

Il sistema che si è realizzato ha avuto come obiettivo il monitoraggio di *Cydia pomonella*, ma l'obiettivo più generale del progetto era quello di realizzare un

sistema facilmente adattabile anche al monitoraggio di altre specie di insetti, come per esempio la *Cydia molesta* (Busck) ovvero la *Ostrinia nubilalis* (piralide del mais) (Hübner).

I costi del sistema al momento sono ancora molto elevati, ma considerato l'evoluzione che sta facendo l'elettronica in questi anni è facilmente ipotizzabile che nei prossimi anni il costo della strumentazione si abbasserà di almeno un decimo. Basti pensare la videocamera del primo prototipo è costata nel 2007 1240 euro, oggi dopo appena 3 anni il suo costo è sceso a soli 400 euro, con un calo di prezzo del trecento per cento.

L'utilizzo del sistema ad infrarossi era per uno scopo prettamente scientifico per determinare a che ora della notte si avevano i voli, ma al fine di campo questo sistema non ha un utilizzo così diretto e di conseguenza nella fase di costruzione del sistema di monitoraggio in un ottica commerciale in cui distribuire il prodotto a prezzi accessibili è ipotizzabile la sua eliminazione, in quanto all'operatore agricolo è sufficiente controllare la trappola di giorno. Ne consegue che sarà anche possibile, una volta eliminato l'illuminatore ad infrarossi, ridurre anche la potenza che il sistema di alimentazione e di conseguenza una riduzione ulteriore dei costi.

È ipotizzabile che un sistema di monitoraggio come quello presentato arriverà a costare nel prossimo futuro tra i 200 e i 400 euro.

In generale si può concludere osservando che l'obiettivo del progetto, con la continua evoluzione tecnologica, che caratterizza il nostro tempo, è raggiungibile ma richiede ulteriori interventi per rendere il sistema di controllo più accurato ed affidabile. Certamente occorre rendere il prototipo di dimensioni più rispondenti all'impiego di campo. È attualmente in corso la riprogettazione completa al fine di avere un sistema elettronico e di alimentazione così contenuto da essere collocato all'interno delle trappole esistenti, seppure con qualche piccolo adattamento, ovviamente sempre necessario.

È inoltre prevista una doppia sperimentazione, in laboratorio ed in campo.

La prova in ambiente controllato consentirà di definire in modo puntuale le prestazioni di funzionamento del sistema realizzato, la prova in campo permetterà di individuare i limiti di funzionamento in relazione alle normali pratiche agricole.

BIBLIOGRAFIA

Accinelli G., M. S. (1998). Effetti del tipo di trappola e dell'innesco feromonico sulla cattura di *Cydia pomonella*. *Informatore fitopatologico* , 1-2, 70-75.

Birch M.C., H. K. (1984). Introduzione ai feromoni. 95.

Boselli, M., Butturini, A., & Tiso, R. (2003). Carpocapsa del pero. Verifiche e aggiornamenti sui mezzi di difesa. *Atti del convegno "Pericoltura di qualità a basso impatto ambientale"* , 61-67.

Boselli, M., Butturini, A., & Tiso, R. (2003). Carpocapsa del pero. Verifiche e aggiornamenti sui mezzi di difesa. *Atti del convegno "Pericoltura di qualità a basso impatto ambientale"* , 61-67.

Boselli, M., Melandri, M., Pasqualini, E., Pradolesi, G., & Zelger, R. (2005). *Cydia pomonella* Linnaeus (ovvero l'anatema dei pomi) un fitofago chiave di melo e pero. *Agronomica* , 3, 26-45.

Briolini G., C. F. (1971). Ricerche su *Cydia pomonella* L. (lep. Tortricidae) e su di un metodo razionale per combatterla. *Boll. Ist. Univ. Bologna* , 30, 153-188.

Bugiani, R., Tiso, R., Butturini, A., Govoni, P., & Ponti, A. (1996). Forecasting models and warning services in Emilia – Romagna (Italy). *Bulletin OEPP/EPPO* , 26, 595-603.

Butturini, A., & Tiso, R. (2002). I modelli previsionali nella difesa dagli insetti dannosi. *Divulgatore* , XXV (5), 18-48.

Butturini, A., Tiso, R., & De Berardinis, E. (1992). Influenza della temperatura sullo sviluppo di *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae). *Bollettino istituto di Entomologia G. Grandi Università di Bologna* , 47, 123 – 134.

Celli, G., & Maini, S. (1988). Lotta biologica integrata in agricoltura. 196.

Cravedi, P. (2001). I feromoni: novità e prospettive di applicazione come metodi di lotta. *Informatore Fitopatologico* . , 51 (10), 6-9.

Epsky N.D., S. D. (2001). Laboratory evaluation of an improved electronic grain probe insect counter. *Journal of Stored Products Research* , 37, 187-197.

Galassi, T., & Pasqualini, E. (2000). La carpocapsa delle pomacee: aggiornamento sulla difesa integrata e sui metodi di lotta biologici in Emilia-Romagna. –. *Frutticoltura* , 9, 42 – 44.

Golfari, L. (1939). Ricerche sull'etologia della *Cydia* (Laspeyresia) *pomonella* L. in rapporto coi mezzi usati per combatterla. *Bollettino dell'Istituto di Entomologia della R. Università di Bologna* , XI, 41-63.

- Grandi. (1951). *Introduzione allo studio dell'entomologia* (Vol. II). Bologna: Soc. Tipogr. Edit Bolognese.
- Ho S. H., F. L. (1997). Development of a PC-based Automatic monitoring system for *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) in a Rice Warehouse. *Journal of Stored Products Reserch* , 33 (4), 277-281.
- Ioriatti C., B. J. (2003a). Carpocapsa: la situazione della resistenza ad azinphos methyl e diflubenzuron in Trentino ed Emilia Romagna. *Informatore Fitopatologico* , 53 (1), 53-59.
- Knight, A., & Miliczky, E. (2003). Influence of trap colour on the capture of Codling moth (Lepidoptera: Tortricidae), honeybees, and non-target flies. *Journal of Economic Entomology* , 100, 65 – 70.
- Knodel, J., & Agnello, M. (1990). Field comparison of non-sticky and sticky pheromone traps for monitoring fruit pests in western New York. *Journal of Economic Entomology* , 83, 197-204.
- Lucchese, E. (1938). Contributi alla conoscenza dei Lepidotteri del melo. I. *Cydia pomonella*. *Boll. Lab. Zool. Portici* , 30, 323-370.
- Maini, S., & Accinelli, G. (2000). Confusione – disorientamento e distrazione sessuale: confronti tra erogatori di feromoni di *Cydia molesta* (Busck) (Lepidoptera Tortricidae). *Bolletino Istituto Entomologico G. Grandi* , 54, 113-122.
- Mattedi, L., Forno, F., Lucin, R., Pellegrini, F., Piva, U., & Varner, M. (2005). Carpocapsa del melo un fitofago in crescita. 4, 24-31.
- Molinari, F., Cravedi, P., Rama, F., Reggiori, F., Dal Pane, M., & Boselli, M. (2000). L'uso del "Disorientamento" per il controllo di *Cydia molesta* inserito in strategie di difesa integratadelle pomacee. – Atti Giornate Fitopatologiche, 1: 333 – 340. *Atti Giornate Fitopatologiche* , 1, 333-340.
- Neethirajan S., K. C. (2007). Detection techniques for stored-product insects in grain. *Food Control* , 18, 157-162.
- Pasqualini, E., & Boselli, M. (2005). La difesa dai fiofagi del pero. *Informatore Fitopatologico* , 55 (6), 9-15.
- Pasqualini, E., Vergnani, S., Ardizzoni, M., Civolani, S., & Ferioli, G. (2001). Il momento di applicazione di un insetticida: un caso per *Cydia pomonella* L. *Informatore Fitopatologico* , 51 (6), 50-52.
- Pollini, A. (2002). Manuale di entomologia applicata. 1462.
- Reynolds D.R., R. J. (2002). Remoting-sensing, telemetric and computers-based tecnologies for investigation insect movement: a surgery of existing and potential techniques. *Computers and Elettronics in Agricolture* (35), 271-307.

- Ridgway C., D. E. (2002). rapid machine vision for the detection of insects and other particulate bio-contaminants of Bulk Grain in transit. *Biosystem Engineering* , 83 (1), 21-30.
- Riedl H., S. A. (1985). Monitoring susceptibility to azinphos-methyl in field population of codling moth (Lepidoptera Tortricidae) with pheromone traps. *Journal of Economic Entomology* , 78, 692-699.
- Roelofs W. L., C. A. (1971). Sex attractant of the Codling Moth: characterization with electroantennogram technique. *Science* (174), 297-299.
- Tiso, R., & Butturini, A. (1999). Un modello fenologico per *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae) nella difesa delle pomacee in Emilia – Romagna. *Frustula Entomologica* (22), 113-120.
- Tiso, R., Boselli, M., Butturini, A., & Bellettini, L. (2001). Andamento dell'ovideposizione in campo di *Cydia pomonella* L. *Informatore Fitopatologico* , 51 (6), 33-39.
- Toews M. D., P. T. (2003). Electronic and manual monitoring of *Cryptolestes ferrugineus* (Coleoptera: Laemophloeidae) in stored wheat. *Journal of Stored Products Research* (39), 541-554.
- Trematerra, P., & Sciarretta, A. (1998). Osservazioni sull'influenza della dose di feromone e della posizione delle trappole per il monitoraggio di *Cydia pomonella*. *Informatore Fitopatologico* , 48 (7-8), 46-50.
- Tremblay, E. (1993). *Entomologia applicata* (Vol. 2). Napoli.
- Varela L. G., W. S. (1993). Monitoring and characterization of insecticide resistance in codling moth (Lepidoptera Tortricidae) in four Western States. *Journal of Economic Entomology* , 86, 1-10.
- Vincent, C., Mailloux, M., Hagley, E., Reissing, W., Coli, W. M., & Hosmer, T. A. (1990). Monitoring the codling moth (Lepidoptera: Olethreutidae) and the obliquebanded leafroller (Lepidoptera: Tortricidae) with sticky and non-sticky traps. *Journal of Economic Entomology* , 83, 434 – 440.
- Welter S., D. J. (1992). Pesticide resistance in codling moth: cross resistance, resistance in field population and genetic selection. *Entomology Research Reports, California Pear Advisory Board, Sacramento California*.

RINGRAZIAMENTI

Un sincero ringraziamento a tutte le magnifiche persone che in questi tre anni mi hanno accompagnato e guidato in questa avventura.

Il primis voglio ringraziare la Dott.ssa Valda Rondelli, che in questi tre anni mi ha seguito, incoraggiato e dato la possibilità di crescere sia professionalmente sia come persona. Grazie davvero.

I miei più sentiti ringraziamenti al Prof. Guarnieri, all'Ing Molari , i colleghi l'Ing. Capacci, l'Ing. Stoppiello, la Dott.ssa Minarelli, Ing. Paglioni e a tutto il personale del Dipartimento di Ingegneria e Economia Agrarie per la supporto e la disponibilità che mi è stata data in questi anni.